

**PROPUESTA PARA BANCO DE PRUEBAS A CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO  
MEMBRANA DE INTERCAMBIO PROTÓNICO (PEMFC)**

**MIGUEL ANTONIO AMU LOANGO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI**

**2017**

**PROPUESTA PARA BANCO DE PRUEBAS A CELDAS DE COMBUSTIBLE  
TIPO MEMBRANA DE INTERCAMBIO PROTÓNICO (PEMFC)**

**MIGUEL ANTONIO AMU LOANGO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
ingeniero electricista**

**Directores:**

**WILLIAM HERNANDO LIZCANO VALBUENA Dr. Sc.**

**JAIRO ARCESIO PALACIOS PEÑARANDA Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SANTIAGO DE CALI**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en primer lugar a mi madre Saira Loango Gamboa y mi padre Miguel Antonio Amu Hurtado por todo su amor y apoyo durante estos años, también a familiares, novia y amigos que aportaron un granito de arena para mi formación profesional.

Un agradecimiento sincero a los directores William Hernando Lizcano Valbuena y Jairo Arcesio Palacios Peñaranda que confiaron en mí y me guiaron en la realización de este trabajo, agradezco a mis compañeros y amigos de estudio por compartir tantas experiencias durante mi formación. Finalmente, a la Universidad del Valle, a los profesores y miembros del personal de la EIEE, por sus enseñanzas tanto profesionales como personales.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO REFERENCIAL .....	4
2.1. Evolución histórica de las pilas de combustible .....	4
2.2 Tipos de pilas de combustible.....	5
2.3 Celdas de combustible de membrana de intercambio protónico .....	7
3. MÉTODOS DE ENSAYO DEL FUNCIONAMIENTO PARA PEQUEÑOS SISTEMAS DE PILAS DE COMBUSTIBLE .....	10
3.1 objeto de campo de aplicación [9] .....	10
3.2 . Configuración del sistema pequeño de pila de combustible estacionario y límites de ensayo.....	11
3.3 Condiciones de referencia .....	11
3.4 Preparación de los ensayos.....	12
3.4.1 Generalidades .....	12
3.4.2 Análisis de la incertidumbre .....	12
3.5 Montaje del ensayo.....	12
3.6 Instrumentos y métodos de medida .....	14
3.6.1 Generalidades .....	14
3.6.2 Instrumentos de medición .....	14
3.6.3 Puntos de medida .....	15
3.7 Proceso de funcionamiento .....	19
3.8 Ensayo de potencia eléctrica de salida.....	22
3.8.1 Generalidades .....	22
3.8.2 Método de ensayo.....	22
3.8.3 Cálculo de la potencia eléctrica neta media de salida.....	23
3.9 Ensayo de arranque .....	23
3.9.1 Generalidades .....	23
3.9.2 Determinación del estado de carga de la batería .....	23
3.9.3 Método de ensayo.....	24

3.10	Ensayo de variación de potencia eléctrica de salida .....	27
3.10.1	Generalidades.....	27
3.10.2	Método de ensayo .....	27
3.11	Módulo de ensayos .....	31
4.	ADECUACIÓN DE ESPACIO SEGÚN LA NORMA IEC 62282-3-300 .....	33
4.1	REQUISITOS GENERALES Y ESTRATEGIAS DE SEGURIDAD [11] ....	33
4.2	CONSIDERACIONES ACERCA DE LA LOCALIZACIÓN .....	34
4.2.1	Localización general.....	34
4.2.2	Instalaciones de interior .....	36
4.3	VENTILACIÓN Y ESCAPE .....	36
4.3.1	Generalidades .....	36
4.3.2	Ventilación.....	37
4.3.3	Sistema de escape.....	37
4.3.4	Proceso de ventilación y purgado .....	38
4.4	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS Y DETECCIÓN DE GASES .....	38
4.4.1	Protección contra incendio y detección .....	38
4.4.2	Prevención de incendios y planes de emergencia .....	39
4.5	Interconexiones con las interfaces de la instalación .....	40
4.5.1	Generalidades .....	40
4.5.2	Conexiones de suministro de combustible – Generalidades.....	40
4.5.3	Cierre del combustible y tuberías .....	40
4.5.4	Conexión a suministro de materiales auxiliares y eliminación de materiales .....	41
4.6	Requisitos medio ambientales .....	41
4.7	Ensayos de aprobación .....	42
4.7.1	Escapes de gas.....	42
4.7.2	Dispositivos de apagado específicos de la instalación.....	42
4.8	Ensayos de mantenimiento.....	42
5.	PROYECTO PARA LA ADECUACIÓN Y DOTACIÓN DE MUEBLES PARA EL LABORATORIO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEMFC Y ALMACÉN PARA CILINDROS DE HIDRÓGENO. EDIFICIO 353 ESPACIO 1005, SEDE C.U.V. MELÉNDEZ – UNIVERSIDAD DEL VALLE .....	44

5.1	Memoria.....	44
5.1.1	Objetivo .....	44
5.1.2	Localización: .....	45
5.1.3	Usos: .....	45
5.1.4	Alturas: .....	45
5.1.5	Zonificación: .....	45
5.1.6	Tipología: .....	45
5.1.7	Programa: .....	45
5.1.8	Superficies: .....	45
5.1.9	Descripción sistema constructivo: .....	46
5.2	Especificaciones técnicas .....	46
5.3	Cronograma.....	47
5.4	Planos.....	47
5.5	Presupuesto.....	48
5.6	Matriz de riesgo .....	49
5.7	Impacto socio ambiental .....	50
5.8	Fotos.....	50
6.	CONCLUSIONES .....	51
7.	REFERENCIAS .....	52
8.	ANEXOS.....	53
8.1	Anexo A .....	53
8.2	Anexo B .....	54

## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1:	Cronograma de desarrollo de la pila de combustible.....	3
Figura 2.2:	Curva de polarización de diferentes celdas de combustible.....	6
Figura 2.3:	Esquema simplificado de una PEMFC.....	7

Figura 3.1: configuración general del sistema pequeño de pila de combustible estacionario.....	10
Figura 3.2: sistema pequeño de pila de combustible estacionario alimentado con combustible gaseoso.....	12
Figura 3.3: puntos de medición del ruido para los sistemas pequeños de pila de combustible.....	17
Figura 3.4: estados de funcionamiento de un sistema de pila de combustible estacionario sin batería.....	18
Figura 3.5: estados de funcionamiento de un sistema de pila de combustible estacionario con batería.....	20
Figura 3.6: Ejemplo de grafico de la potencia eléctrica en el arranque de un sistema sin batería.....	24
Figura 3.7: Ejemplo de grafico de la potencia eléctrica en el arranque de un sistema con batería.....	25
Figura 3.8: Patrón de variación de la potencia eléctrica de salida para un sistema sin batería.....	27
Figura 3.9: Patrón de variación de la potencia eléctrica de salida para un sistema con batería.....	28
Figura 3.10: ejemplo de criterios de estabilización de la variación de la potencia eléctrica.....	29
Figura 3.11: Grafico de la potencia eléctrica en la parada del equipo.....	29
Figura 3.12: Nexa® Training system.....	30

## **CONTENIDO DE TABLAS**

Tabla 2.1: Tipos de pilas de combustible y sus características principales.....	6
Tabla 2.2: Características principales de las celdas de combustible DMFC.....	8
Tabla 5.1: programación resumida por capítulos.....	45
Tabla 5.2: Planos proyecto Lab. Pemfc.....	45
Tabla 5.3: resumen de presupuesto general Lab. Pemfc.....	46

# PROPUESTA PARA BANCO DE PRUEBAS A CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO MEMBRANA DE INTERCAMBIO PROTÓNICO (PEMFC)

Miguel Antonio Amu, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle, Colombia, Cali, 2017.

## Resumen

Este trabajo presenta una herramienta tecnológica la cual se emplea para la transformación de energía química en energía eléctrica de forma directa, esto a través de una celda de combustible. El presente trabajo se basó en una celda de baja potencia (1.2 kW). Se muestra además el desarrollo de la propuesta para un laboratorio para celdas de combustible tipo PEMFC, usando como equipo de medida, adquisición y almacenamiento de datos el módulo Nexa<sup>®</sup> Training system, todo esto basado en las norma internacionales IEC 62282-3-201 e IEC 62282-3-300.

Palabras clave: celda de combustible, normativa, ensayos.

## Abstract

This study presents a technological tool which uses for the transformation of chemical energy in electric power of direct form, this through an equipment called fuel cell, the present work was based on a low power cell (1.2 kW). The development of the offer appears in addition for a laboratory for fuel cell type PEMFC, using as equipment of measure, acquisition and storage of information the module Nexa<sup>®</sup> Training system, all that based on the international regulation IEC 62282-3-201 and IEC 62282-3-300.

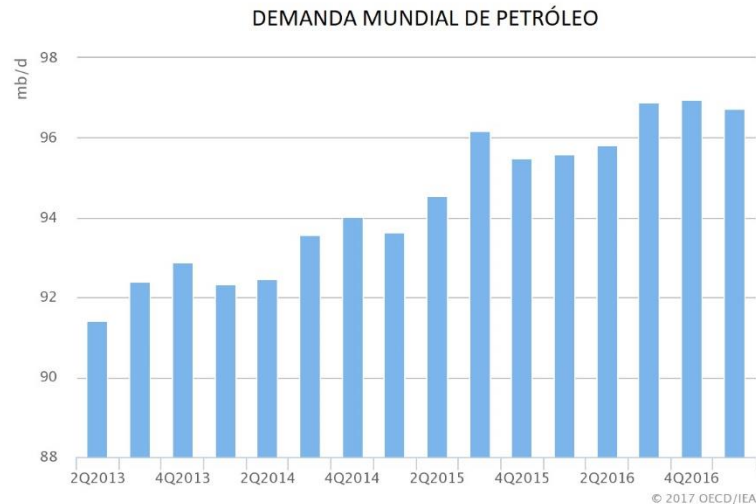
Keywords: fuel cell, regulation, tests.



## 1. INTRODUCCIÓN

La situación energética actual a nivel mundial está condicionada por determinados factores, tales como el consumo de las reservas de combustibles fósiles, la concienciación medioambiental y la situación geopolítica actual.

Figura 1.1: Demanda mundial de petróleo.[1]



En la figura 1.1 se muestra la demanda mundial de petróleo en millones de barriles por día (mb/d) en cada semestre desde el 2013 hasta el 2016, según la agencia internacional de energía o IEA por sus siglas en inglés, la gráfica devela un incremento progresivo en la demanda de esta fuente de energía y según las previsiones de la IEA para el año 2017 el aumento será de 1.5 mb/d (1.6%) y para el 2018 de 1.3 mb/d (1.3%).[1], [2]

La demanda de energía actual requiere de una producción limpia, esto lleva al desarrollo de esfuerzos para mejorar los sistemas de energías renovables en especial los ecológicamente amigables.

Entre las tecnologías estudiadas y ya puestas en implementación se encuentran las celdas o pilas de combustible, las cuales han sido desarrolladas en países como: Japón, Corea del sur, Canadá, Estados Unidos y países nórdicos. Pero también han empezado a ser una alternativa interesante en la región en países como Brasil y México, en donde se han realizado algunas implementaciones en el área del transporte.[3]

No obstante, en Colombia se tiene poco conocimiento sobre esta tecnología, lo cual deja sin criterios a quienes quisieran adquirirla como una posible alternativa

energética. En caso de la adquisición de esta tecnología; con mayor precisión en el Valle del Cauca, factores como el medio ambiental o los recursos energéticos con los cuales cuenta el departamento, generan inquietudes como: suministro de la fuente energética, ¿Qué mantenimiento requieren?, ¿Qué eficiencia tienen?, ¿influye las condiciones ambientales del trópico en su operación o rendimiento?. Estas inquietudes deben tener una respuesta precisa a la hora de plantear el uso de esta tecnología como una opción energética. Por lo tanto obliga a la realización de estudios que den respuestas concluyentes para tener criterios en su elección.

El diseño de un banco de pruebas para celdas de combustible se hace necesario, por el poco conocimiento que se tiene en nuestra región sobre sus características como son la eficiencia que puedan tener y su respuesta ante distintas cargas además en las condiciones particulares de nuestra región como sería su respuesta.

Una de las alternativas que ofrecen las celdas de combustible es el hecho que hay diferentes clases de ellas que funcionan con diversas fuentes energéticas, como lo son el hidrógeno principalmente, el metanol y el etanol. Esta última fuente ya se produce por parte de los ingenios azucareros del Valle del Cauca, lo cual abre una posibilidad interesante de generación con este combustible. Dándole a la región una opción o alternativa en el aprovechamiento de los recurso que se tienen.

Por otro la también se tiene que en los últimos años, compañías automotrices han buscado alternativas a los vehículos a gasolina y diésel, una de ellas son los vehículos eléctricos que funcionan a base de hidrógeno, éstos usan una celda de combustible que genera la energía eléctrica que alimenta al motor y dan al mismo gran autonomía, estos vehículos ya se comercializan (Toyota Mirai) en países como Estados Unidos y Japón y ofrecen una alternativa más limpia y amigable con el medio ambiente respecto a los vehículos tradicionales.

Para dar solución al problema se propuso como objetivo general proponer un banco de pruebas para caracterizar el comportamiento eléctrico de una celda de combustible tipo membrana de intercambio protónico (PEMFC). Este objetivo general está compuesto por objetivos específicos los cuales fueron proyectados de la siguiente manera:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre características y funcionamiento de las celdas de combustible tipo PEMFC.
2. Determinar para una celda de combustible tipo PEMFC según las normas ANSI Z21.83 e IEC 62282-3 los valores de referencia de su comportamiento eléctrico.

3. Especificar los equipos necesarios para llevar a cabo las pruebas para la determinación de los parámetros eléctricos de celdas de combustibles tipo PEMFC de acuerdo a lo estipulado por las normas.

Se aclara que la memoria, especificaciones técnicas, cronograma, planos, presupuesto, matriz de riesgo, impacto socio ambiental y fotos, los cuales se exigen al momento de presentar un proyecto dentro de la Universidad del Valle, se realizaron en el formato exigido por la dirección de infraestructura universitaria de la Universidad del Valle.

Para la comprensión de esta tecnología, se debe dar claridad de la misma mediante un buen marco referencial.

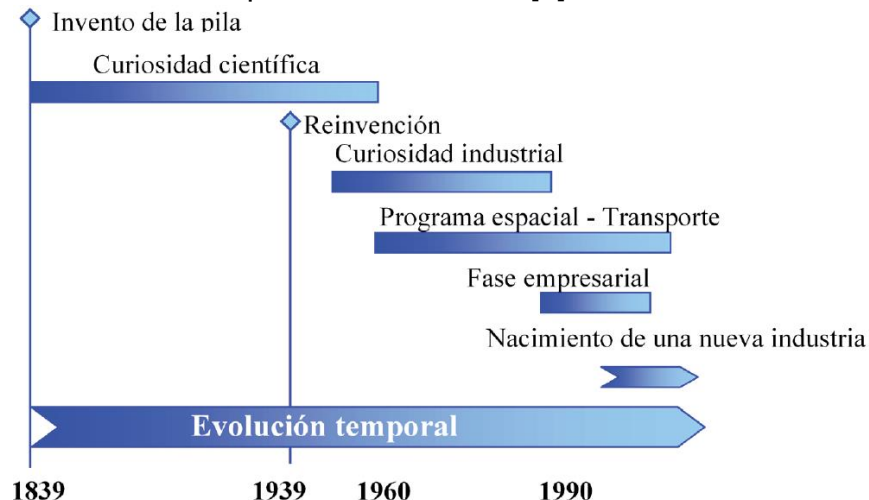
## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Evolución histórica de las pilas de combustible

Al contrario de lo que puede pensarse, el concepto de la pila o celda de combustible no es un invento moderno. Un cronograma aproximado de la evolución de las pilas de combustible se muestra en la figura 2.1. El principio de operación de las pilas de combustible es realmente muy antiguo, descubierto por Sir William Grove en el año 1839, aunque parece que un científico suizo, llamado Christian F. Shönbein, había descrito de forma independiente el mismo efecto de manera simultánea (o incluso un año antes). Fue Nernst quien en 1900 dedujo la ley termodinámica que rige el principio de funcionamiento de las celdas de combustible y, además, fue el primer constructor de la celda de combustible de óxidos sólidos o cerámica.[4]

Pese a los esporádicos intentos realizados por desarrollar un dispositivo práctico, la llamada por Grove batería voltaica gaseosa permaneció como una mera curiosidad científica durante casi un siglo. Fue otro científico inglés, Francis T. Bacon, quien retomó los trabajos sobre estos dispositivos de forma práctica en 1937, desarrollando una pila de 6 kW a finales de la década de 1950.[4]

Figura 2.1: Desarrollo de la pila de combustible.[4]



Sin embargo, la primera aplicación práctica de las pilas de combustible tuvo lugar en el Programa Espacial de los Estados Unidos. Para aquello, General Electric desarrolló una pila alimentada por hidrógeno que se empleó en el Programa Gemini a principio de la década de 1960. Este primer desarrollo fue seguido por el del Programa Espacial Apolo, el cual empleó pilas de combustible para generar electricidad empleada para el uso diario, así como en las redes de

comunicaciones. Estas pilas fueron desarrolladas por Pratt y Whitney, basados en la licencia tomada sobre la patente de F. T. Bacon.[4]

A mediados de la década de 1960 General Motors incorporó una pila de combustible desarrollada por Union Carbide a una furgoneta. Pese a que las pilas de combustibles se han seguido empleando en todas las misiones especiales de los EE.UU hasta hoy día, éstas fueron “olvidadas” en las aplicaciones terrestres hasta el comienzo de la década de 1990. A partir de este momento se probaron sistemas de pilas de combustibles en todo tipo de aplicaciones, como en carros, buses, submarinos, etc.[4]

En estos momentos, los gobiernos de los países desarrollados, liderados por EE.UU, Japón, Canadá y la Unión Europea, promueven políticas que tienden a aumentar los nichos de aplicaciones para estas tecnologías. Por ello, a día de hoy es posible decir que ha surgido una nueva industria, basada en una nueva revolución energética. Basta sólo prestar atención al aumento exponencial del número de patentes solicitadas sobre esta tecnología, lo que demuestra el continuo interés y participación de la comunidad científica e ingenieril de todo el mundo en su desarrollo.[5]

## **2.2 Tipos de pilas de combustible**

Una pila de combustible es un sistema electroquímico que convierte la energía química directamente en energía eléctrica obteniendo como subproductos de la reacción agua y calor, si es el combustible es hidrogeno ( $H_2$ ). A diferencia de las baterías convencionales, los reactantes son suministrados constantemente a la pila, y los productos de reacción eliminados.

En las plantas térmicas convencionales para la generación de trabajo eléctrico, el proceso de conversión está sujeto a ciclos termodinámicos (ciclo de Carnot, Otto, Rankine, etc.) que comprenden varias etapas asociadas a pérdidas energéticas intrínsecas. Normalmente, la combustión de los reactantes libera gran cantidad de calor creando una diferencia de temperatura entre dos focos, lo que provoca un gradiente térmico capaz de producir un trabajo mecánico. Sin embargo, la generación eléctrica en pilas está exenta de cualquier proceso térmico o mecánico intermedio, produciéndose la conversión directa mediante la reacción electroquímica del hidrógeno y el oxígeno. Esto provoca que se alcancen mayores rendimientos.

Tabla 2.1: Tipos de pilas de combustible y sus características principales.[6]

	PEMFC / DMFC Pilas de intercambio protónico y pilas de metanol	AFC Pilas alcalinas	PAFC Pilas de ácido fosfórico	MCFC Pilas de carbonato fundido	SOFC Pilas de óxido sólido	ZAFC Pilas de Zinc-aire
Electrolito	Polímero sólido perfluosulfonado	KOH	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> /K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub> /Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KOH, LiOH, NaOH
Electrodos						
Ánodo	Pt/C	Ni, Ag, MeO	Pt/C	Ni poroso	Co-ZrO <sub>2</sub> /Ni-ZrO <sub>2</sub>	Zn
Cátodo	Pt/C	Ni, Ag, MeO	Pt/C	NiO poroso	LaMnO <sub>3</sub> + Si	MnO <sub>2</sub>
Matriz		Asbestos	SiC	LiAlO <sub>2</sub>		
Reacciones						
Ánodo	$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$	$2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$	$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$	$CO_3^{2-} + H_2 \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$	$Zn + 4OH^- \rightarrow Zn(OH)_4^{2-} + 2e^-$
Cátodo	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	$CO_2 + 1/2O_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$	$O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
Global	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	$H_2 + 1/2O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO_2$	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	$2Zn + O_2 \rightarrow 2ZnO$
T [°C]	60-80	65-220	200	650	600-1000	0-60
Potencia	0-250 kW	10-100 kW	50 kW – 1 MW	0-1 MW	0-3 MW	90 W/kg
Eficiencia [%]	53-58% transporte 25-35%estacionario	60	>40	45-47	35-43	
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Back up</li> <li>▪ Transporte</li> <li>▪ Pequeñas aplicaciones móviles y domésticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Militar</li> <li>▪ Aeroespacial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Domésticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plantas de generación energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plantas de generación energética</li> <li>▪ Sistemas auxiliares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Móviles y estacionarias</li> </ul>

Existen diferentes clases de pilas de combustible según el tipo de electrolito utilizado, sólido o líquido. La naturaleza del electrolito les confiere diferentes pautas de funcionamiento y características, como pueden ser la temperatura de operación, los gases reactantes, los materiales utilizados para su construcción, o incluso su vida útil y área de aplicación. Un resumen de todas ellas y sus características se muestra en la tabla 1. Las pilas de combustible que operan a bajas temperaturas suelen utilizar catalizadores basados en metales más nobles, como por ejemplo el platino, con el objetivo de favorecer las reacciones que se producen en los electrodos.

Entre todas ellas, las pilas de combustible con membrana de intercambio de protones (PEM), o simplemente pilas poliméricas, son actualmente la opción más prometedora para las aplicaciones móviles debido a su alta eficiencia, densidad de corriente y baja temperatura de operación. Es por ello que en este artículo nos centraremos únicamente en este tipo de pilas de combustible.

### 2.3 Celdas de combustible de membrana de intercambio protónico

Las celdas de combustible de intercambio protónico (PEMFC) utilizan una membrana polimérica para transferir protones ( $H^+$ ) desde el ánodo hacia el cátodo. Esta membrana es un electrolito sólido. En el interior de la membrana se forman canales por los cuales sólo los protones ( $H^+$ ) junto con algunas moléculas de agua pueden atravesarlos y migrar del ánodo hacia el cátodo para reaccionar con el oxígeno. Existen tres tipos de celdas de combustible PEM. La diferencia entre ellas es el agente reductor (combustible) utilizado. Estas son las celdas de hidrógeno, de metanol y de etanol (direct alcohol fuel cells, DAFC). Estas celdas, que operan a bajas temperaturas, tienen altos sobrevoltajes (están más lejos del potencial de equilibrio o termodinámico) en la zona de activación (Figura 2.2), por lo que requieren la utilización de electro-catalizadores de metales nobles en sus electrodos. Un diagrama general de estas celdas se muestra en la Figura 2.3.

Figura 2.2: Curva de polarización de diferentes celdas de combustible[7].

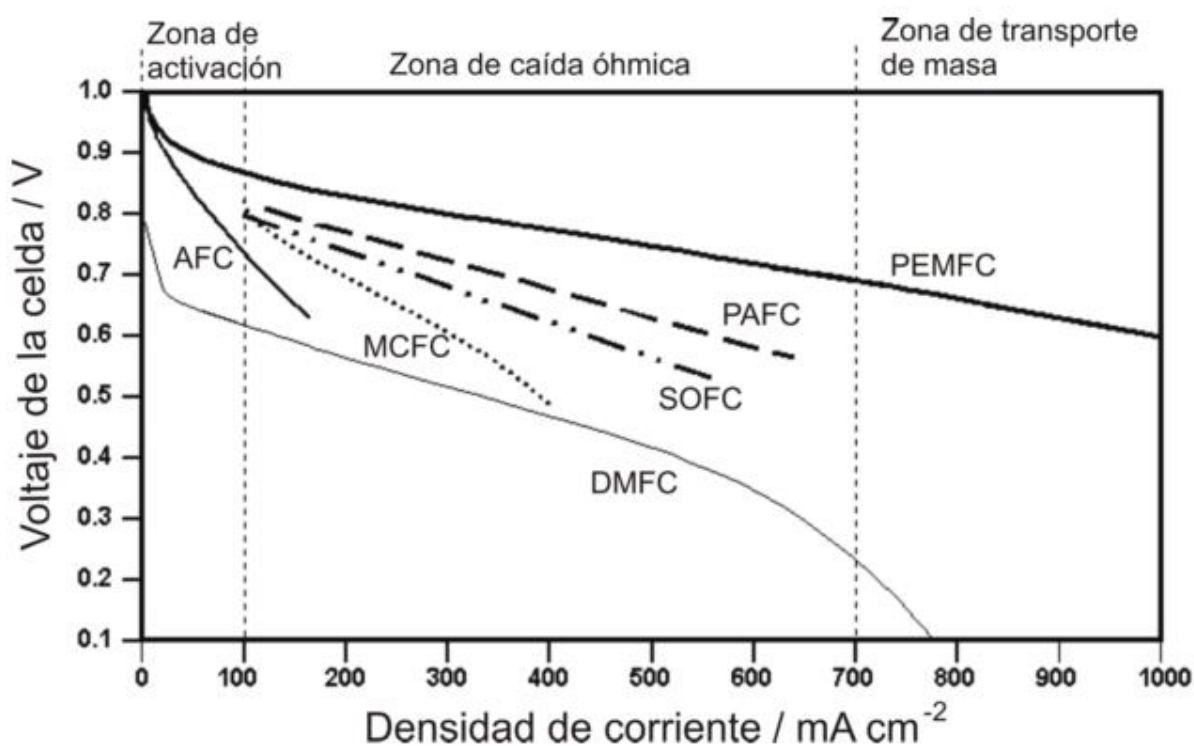
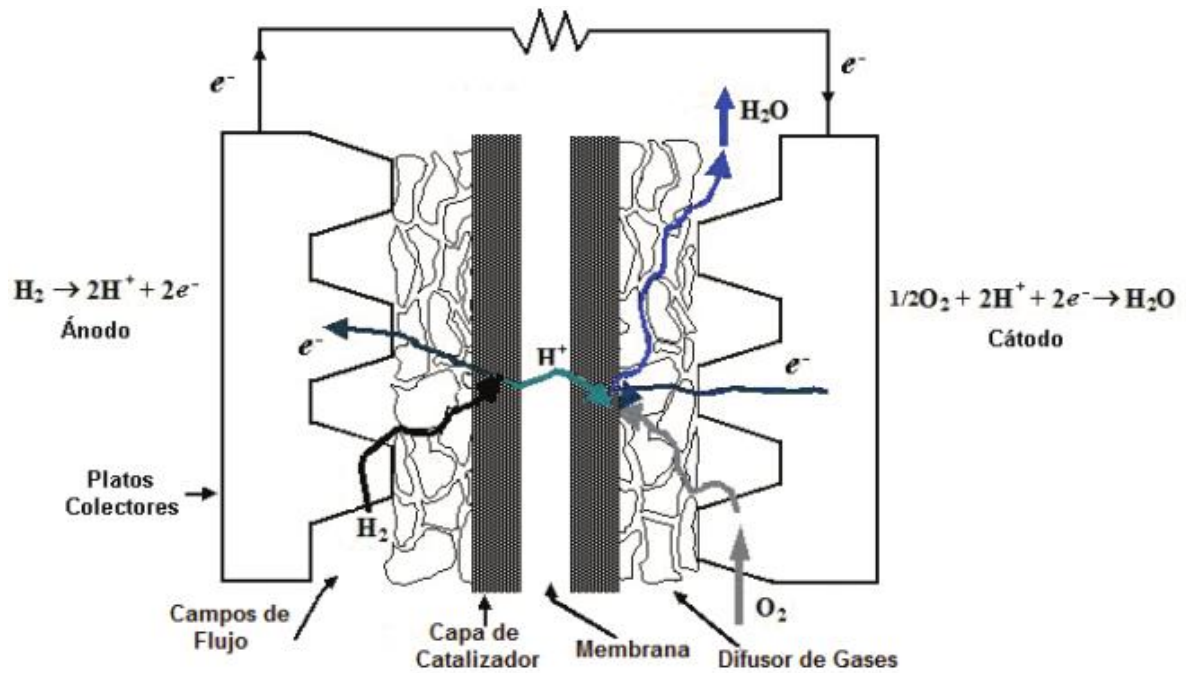


Figura 2.3: Esquema simplificado de una PEMFC.[7]



El empleo de las celdas a metanol y etanol ha ido en aumento en la última década. Estos alcoholes son una fuente de energía atractiva debido a que funciona a bajas temperaturas. Además, eliminan la disposición costosa de los reformadores de hidrógeno y el problema de almacenamiento, en la tabla 2.2 se muestra algunas de sus características principales.

Tabla 2.2: Características principales de las celdas de combustible DMFC. [7]

Celda de combustible	Electrolito (ión móvil)	Temperatura de operación (°C)	Reacciones electroquímicas	Aplicaciones
Metanol Directo (DMFC)	Polímero sólido ( $H^+$ )	20-90	Ánodo: $CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6e^- + 6H^+$ Cátodo: $6H^+ + 1.5O_2 + 6e^- \rightarrow 3H_2O$ Global: $CH_3OH + 1.5O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	Equipos Portátiles de computación y telefonía

Un problema que presentan estos dispositivos es el fenómeno conocido como crossover que es el cruce del combustible desde el ánodo hacia el cátodo. Es decir, el combustible cruza a través de la membrana polimérica desde el ánodo llegando hasta el cátodo en donde desarrolla un potencial mixto donde ocurre la reducción del mismo, interfiriendo con la reacción de reducción del oxígeno. Al presentarse este fenómeno, el rendimiento de la celda disminuye. Diversos estudios para minimizar el efecto crossover están llevándose a cabo actualmente.



La actividad electro-catalítica de nano-partículas de oro en la oxidación de CO y alcohol metílico forma parte de dichos estudios.[8]

Aunque prometedor, la tecnología de las celdas basadas en metanol y etanol (DAFC) es un reto frente a algunos problemas técnicos que deben resolverse antes de la comercialización generalizada de este tipo de dispositivos. Una de las cuestiones técnicas se refiere al fenómeno de transporte de masa de distintas especies. El transporte masivo no solo afecta el rendimiento y la estabilidad del funcionamiento de las celdas, también influye en la densidad de energía volumétrica del sistema. Varios estudios se enfocan en encontrar el uso de electro- catalizadores más eficientes que disminuyan las emisiones de CO por medio de la electro- oxidación completa.[7]

### **3.MÉTODOS DE ENSAYO DEL FUNCIONAMIENTO PARA PEQUEÑOS SISTEMAS DE PILAS DE COMBUSTIBLE**

#### **3.1 objeto de campo de aplicación [9]**

Esta parte de la norma IEC 62282-3-201 describe los métodos de ensayo relativos a las prestaciones eléctricas/térmicas y medioambientales de los pequeños sistemas estacionarios de pila de combustible que satisfacen los criterios siguientes:

- Salida: la potencia eléctrica nominal de salida es inferior a 10 kW;
- Modo de salida: funcionamiento conectado a la red/independiente o funcionando autónomo con una salida en corriente alterna monofásica o trifásica que no exceda de 1000 V o una salida en corriente continua que no exceda de 1500 V;
- Presión de funcionamiento: presión de funcionamiento admisible máxima inferior a 0.1 MPa (manométrica) para los conductos del combustible y del agente oxidante;
- Combustible: combustible gaseoso (gas natural, gas licuado de petróleo, propano, butano, hidrógeno, etc.) o combustible líquido (queroseno, metanol, etc.);
- Agente oxidante: aire.

Esta norma cubre los sistemas de pilas de combustible que tiene por objeto principal producir energía eléctrica y cuyo objeto secundario puede ser el de utilizar la energía térmica de los productos generados. En consecuencia, los sistemas de pila de combustible para los que la utilización de energía térmica es lo principal y la utilización de energía eléctrica como producto es secundario esta fuera de la campo de aplicación de esta norma.

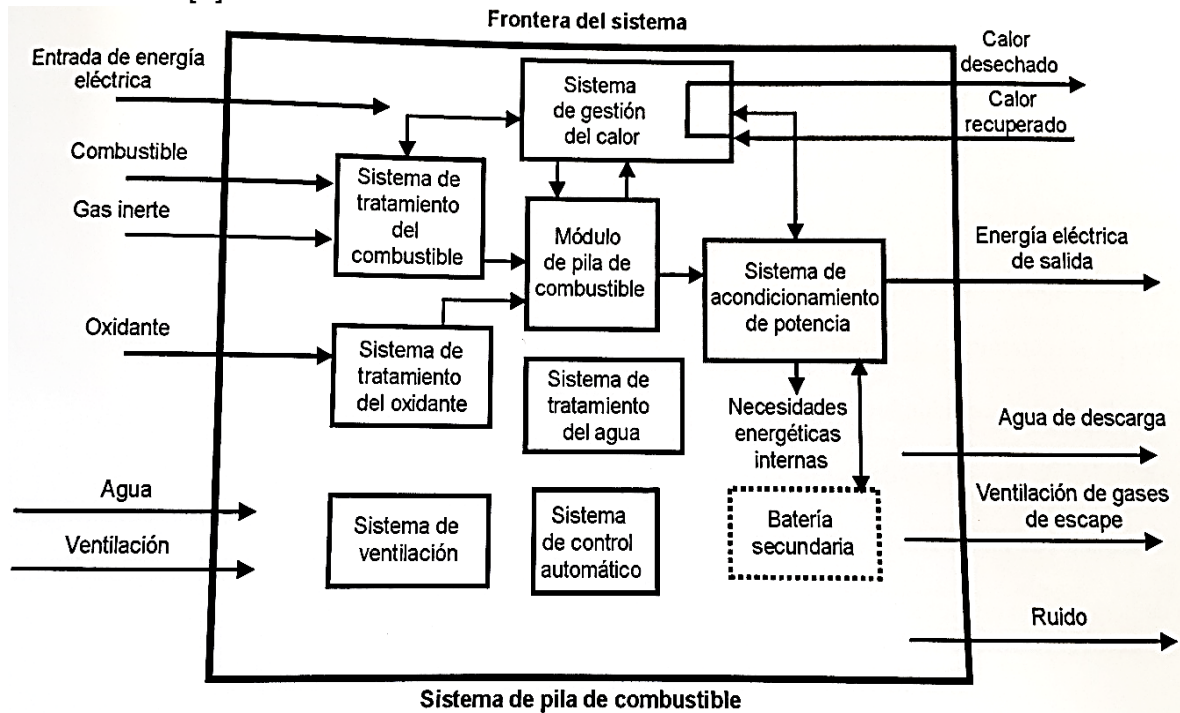
Todos los sistemas con baterías integradas están cubiertos por esta norma. Ello comprende los sistemas en los que las baterías son recargadas de forma integral o recargadas a partir de una fuente externa.

Esta norma no cubre los generadores térmicos auxiliares complementarios que producen energía térmica.

### 3.2. Configuración del sistema pequeño de pila de combustible estacionario y límites de ensayo.

La figura 1 ilustra la configuración general de los sistemas pequeños estacionarios de pila de combustible a los que se aplica esta norma y los límites de ensayo y las magnitudes físicas que entran y salen del sistema de pila de combustible.

Figura 3.1: configuración general del sistema pequeño de pila de combustible estacionario.[9]



### 3.3 Condiciones de referencia

Las condiciones de referencia se especifican a continuación:

- Temperatura de referencia:  $t_0 = 288.15 \text{ K}$  ( $15^\circ\text{C}$ );
- Presión de referencia:  $p_0 = 101.325 \text{ kPa}$  (*abs*).

### **3.4 Preparación de los ensayos**

#### **3.4.1 Generalidades**

Este apartado describe los aspectos particulares que deben considerarse antes de la implementación de un ensayo. Para cada ensayo, se debe hacer esfuerzos para minimizar la incertidumbre seleccionando equipos de alta precisión, planificando cuidadosamente los ensayos teniendo cuidado de los detalles. Deben presentarse los planos detallados por las partes involucradas utilizando esta parte de la norma IEC 62282 como base. Debe prepararse un plan por escrito del ensayo.

Para el plan de ensayo deben tenerse en cuenta las consideraciones siguientes:

- a) Objetivo;
- b) Especificación del ensayo;
- c) Cualificación del personal de ensayo;
- d) Normas de aseguramiento de la calidad (Norma ISO 9000 u normas equivalentes);
- e) Objetivo límite de incertidumbre;
- f) Identificación de los equipos de medición ( véase numeral x);
- g) Rango estimado de los parámetros de ensayo;
- h) Plan de adquisición de datos;

#### **3.4.2 Análisis de la incertidumbre**

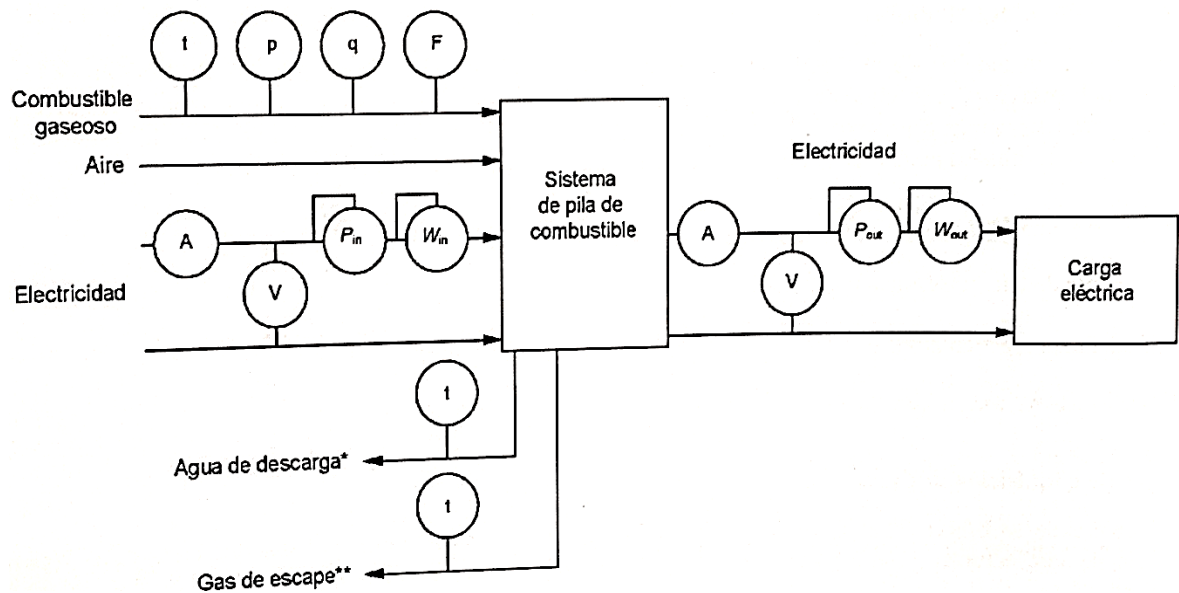
Deben efectuarse un análisis de la incertidumbre en las tres magnitudes siguientes para indicar la fiabilidad de los resultados del ensayo y para cumplir con las demandas de usuario. Deben analizarse los resultados del ensayo siguientes para determinar las incertidumbres absoluta y relativa. Un ensayo debe planificarse de tal manera que la fiabilidad de los resultados pueda ser evaluada con relación a las magnitudes siguientes:

- Rendimiento eléctrico;
- Rendimiento de energía eléctrica recuperada;
- Rendimiento energético global.

### **3.5 Montaje del ensayo**

La figura 2 ilustra un ejemplo del montaje requerido para efectuar los ensayos de un sistema pequeño de pila de combustible estacionario con el combustible gaseoso descrito en la norma.

Figura 3.2: sistema pequeño de pila de combustible estacionario alimentado con combustible gaseoso.[9]



### Leyenda

A: Amperímetro

V: Voltímetro

t: Termómetro

p: Manómetro

q: Caudalímetro

F: Caudalímetro totalizador

P: Vatímetro

W: Vatímetro totalizador (contador de energía eléctrica)

\* Al dispositivo colector para medir el volumen (o peso), pH, BOD<sup>1</sup>, COD<sup>2</sup>

\*\* Al dispositivo colector para analizar los componentes

<sup>1</sup> BOD (biochemical oxygen demand) significa demanda bioquímica de oxígeno.

<sup>2</sup> COD (chemical oxygen demand) significa demanda química de oxígeno.

### **3.6 Instrumentos y métodos de medida**

#### **3.6.1 Generalidades**

Los instrumentos de medida y los métodos de medida deben ser conformes con las normas internacionales pertinentes. Deben seleccionarse para cumplir con los rangos de medida especificados por el fabricante y la presión requerida de las mediciones.

#### **3.6.2 Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición se enumeran a continuación en función de su utilización prevista:

- a) Aparato para la medición de la potencia eléctrica de salida, la potencia eléctrica de entrada, la energía eléctrica de salida y la energía eléctrica de entrada:
  - Vatímetros, conductores de energía eléctrica, voltímetros, amperímetros;
- b) Aparato para la medición de entrada de combustible:
  - Caudalímetros, Caudalímetros totalizadores, balanzas, captadores de presión, captadores de temperatura;
- c) Aparato para la medición de la energía térmica de salida (únicamente en el caso de valoración de la energía térmica de los productos);
  - Caudalímetros, Caudalímetros totalizadores, captadores de temperatura;
- d) Aparato para la medición de las condiciones del entorno ambiental:
  - Barómetros, higrómetros y captadores de temperatura;
- e) Aparato para la medición del nivel de ruido:
  - Sonómetros, como se especifica en la norma IEC 61672-1 u otros instrumentos de medición de una precisión equivalente o superior.
- f) Aparato para la medición de las concentraciones de los componentes del gas de escape:

- Analizador de oxígeno (por ejemplo basado en los captadores de paramagnéticos, electroquímicos o de óxido de circonio),
- Analizador de dióxido de carbono (por ejemplo GC-MS o con un captador de absorción de infrarrojos),
- Analizador de monóxido de carbono (por ejemplo con un captador no dispersante de infrarrojos o un captador electroquímico),
- Analizador de óxido de azufre (por ejemplo con un captador no dispersante de infrarrojos o un captador electroquímico),
- Analizador de THC<sup>3</sup> (por ejemplo un analizador de ionización de llama (FID));

g) Aparato para la determinación del agua de descarga:

- Cilindro graduado (para la medición del volumen), captador de temperatura, indicadores de pH, sondas BOD.

### **3.6.3 Puntos de medida**

Los puntos de medida para diferentes parámetros se describen seguidamente:

a) Caudal de combustible gaseoso:

Se coloca un caudalímetro de combustible en la línea de alimentación de combustible al sistema de pila de combustible para medir el caudal de combustible;

b) Combustible gaseoso de entrada integrado:

Se coloca un caudalímetro totalizador en la línea de alimentación de combustible al sistema de pila de combustible para medir la entrada de combustible. El caudalímetro totalizador puede combinarse con un caudalímetro que mida el caudal de combustible;

c) Paso del combustible líquido de entrada:

Se coloca una balanza bajo el depósito de combustible para medir conjuntamente el peso del combustible y del depósito. El peso de combustible líquido de entrada se mide restando la masa obtenida después del ensayo de la masa antes del ensayo;

---

<sup>3</sup> THC (total hydrocarbon) indica los hidrocarburos totales.

d) Temperatura del combustible:

Se conecta un termómetro inmediatamente aguas abajo del caudalímetro de combustible;

e) Presión de combustible:

Se coloca un captador de presión inmediatamente aguas abajo del caudalímetro de combustible para medir la presión manométrica de combustible;

f) Potencia eléctrica de salida:

Se conecta un vatímetro en el terminal de salida de energía eléctrica del sistema de pila de combustible y próximo a la frontera del sistema;

g) Potencia eléctrica de entrada:

Se conecta un vatímetro en el terminal de entrada de energía eléctrica del sistema de pila de combustible y próximo a la frontera del sistema;

h) Energía eléctrica de salida:

Se conecta un contador de energía eléctrica en el terminal de salida de energía eléctrica del sistema de pila de combustible y próximo a la frontera del sistema. El contador de energía eléctrica puede incorporar un vatímetro que indique la potencia eléctrica de salida;

i) Energía eléctrica de entrada:

Se conecta un contador de energía eléctrica en el terminal de entrada de energía eléctrica del sistema de pila de combustible y próximo a la frontera del sistema. El contador de energía eléctrica puede incorporar un vatímetro que indique la potencia eléctrica de entrada;

j) Composición de combustible:

El combustible utilizado durante los ensayos debe muestrearse y analizarse su composición;

k) Presión atmosférica:



Se coloca un medidor de presión absoluta adyacente al sistema de pila de combustible colocándolo de forma que no se vea afectado por la ventilación del sistema de pila de combustible;

l) Temperatura atmosférica:

Se coloca un termómetro adyacente al sistema de pila de combustible colocándolo de forma que no se vea afectado por la entrada o por el escape del sistema de pila de combustible;

m) Humedad atmosférica:

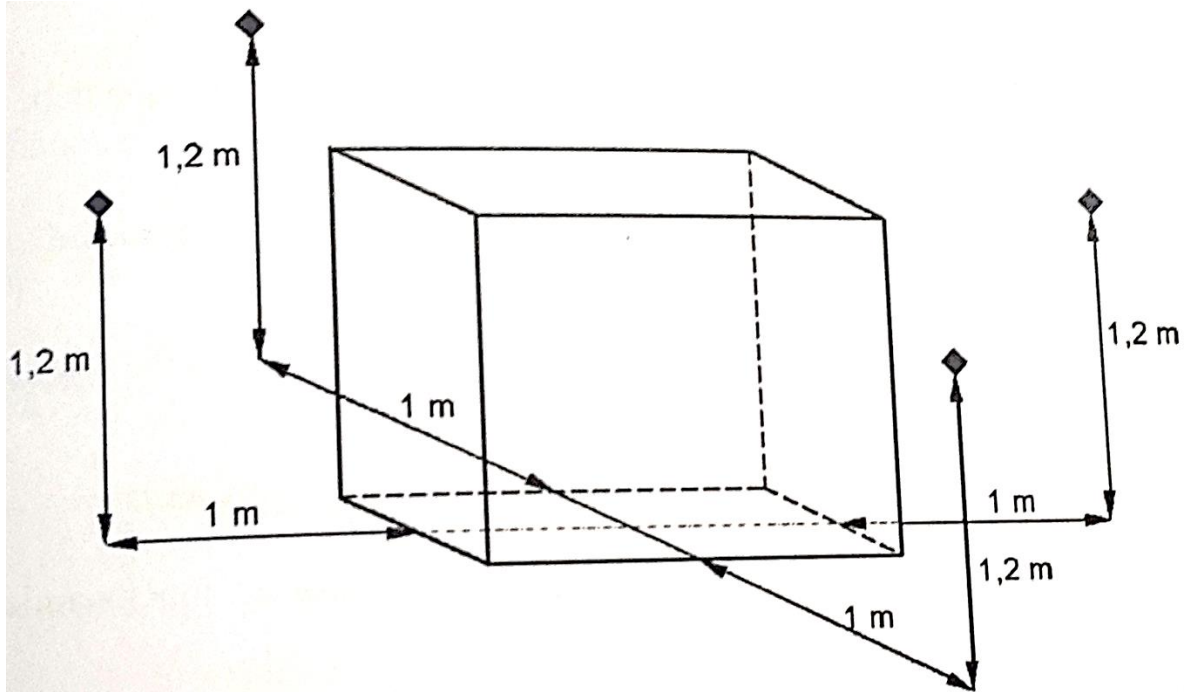
Se coloca un higrómetro adyacente al sistema de pila de combustible colocándolo de forma que no se vea afectado por la entrada o por el escape del sistema de pila de combustible;

n) Nivel de ruido:

Las mediciones deben hacerse en cuatro puntos, a saber en dos direcciones sobre el eje central de delante a atrás y dos direcciones sobre el eje central de derecha a izquierda del sistema de pila de combustible. Los puntos de medición deben estar situados sobre el plano de referencia a una altura de 1.2 m desde la base del sistema de alimentación.

El micrófono del sonómetro debe orientarse perpendicularmente con relación a las superficies de referencia.

Figura 3.3: puntos de medición del ruido para los sistemas pequeños de pila de combustible.[9]



#### Leyenda

- Puntos de medición

#### o) Gas de escape:

Se colocan una o varias sondas colectoras de gas de escape en combinación con un captador de temperatura en la corriente en el punto de salida del gas de escape,

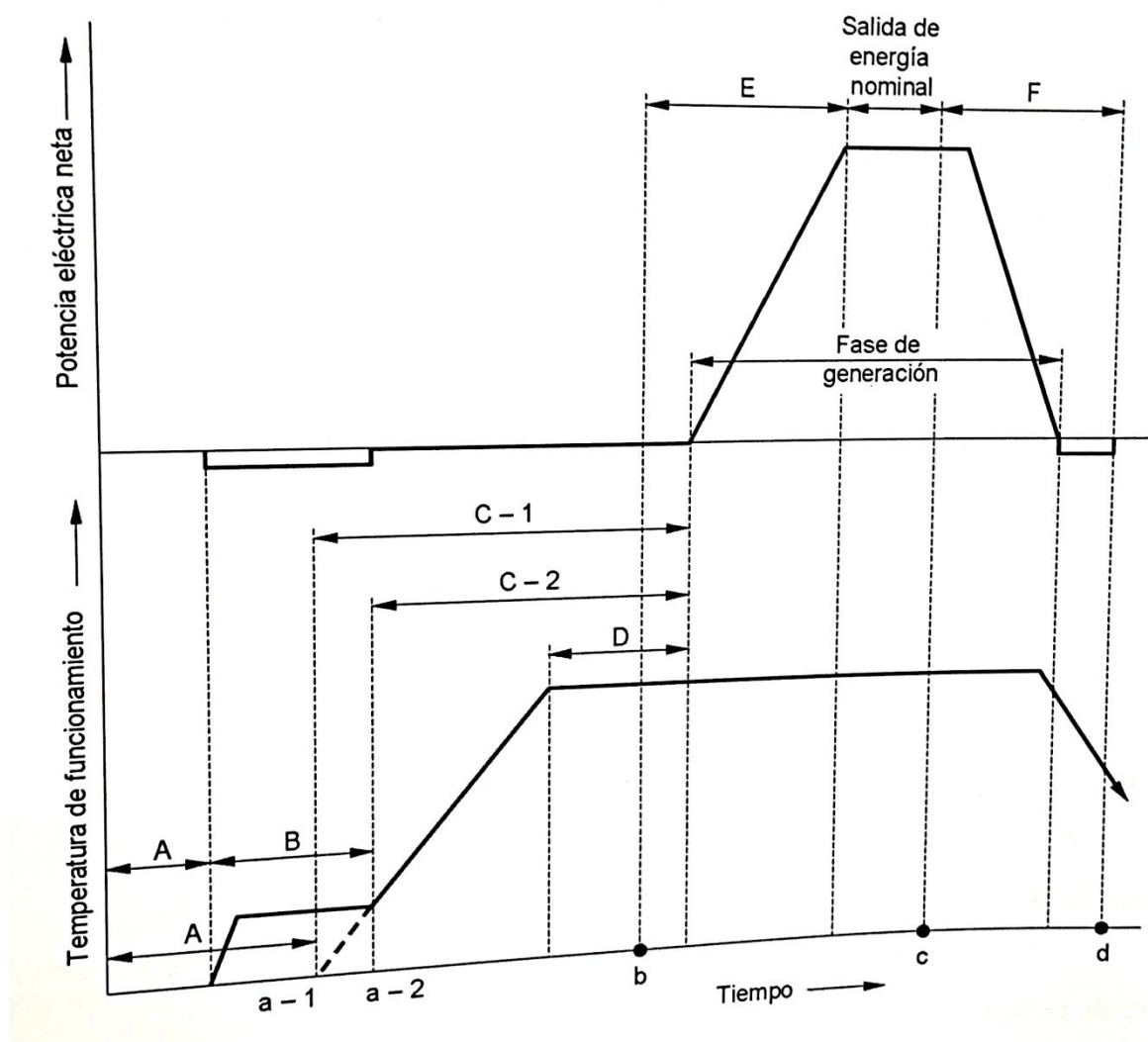
#### p) Agua de descarga:

Se coloca un dispositivo de agua de descarga combinado con un captador de temperatura en el punto de salida del agua de descarga.

### 3.7 Proceso de funcionamiento

La figura 3.4 presenta los estados de funcionamiento típico de un sistema de pila de combustible estacionario sin batería y la figura 3.5 un sistema de pila de combustible con batería. Estas figuras presentan unas series cronológicas de variaciones del estado de funcionamiento desde el arranque, a la generación y a la parada, e indica las definiciones para los términos correspondientes a los diferentes estados de funcionamiento.

Figura 3.4: estados de funcionamiento de un sistema de pila de combustible estacionario sin batería.[9]



## Leyenda

A: Estado en frio

V: Estado en almacenaje

C-1: Tiempo de arranque para los sistemas que no requieren energía externa para mantener un estado de almacenaje, la medición se efectúa a partir del estado en frio

C-2: Tiempo de arranque para los sistemas que requieren energía externa para mantener un estado de almacenaje, la medición se efectúa a partir del estado de almacenaje

D: Estado de pre-generación

E: Tiempo de respuesta para alcanzar la potencia eléctrica nominal de salida

F: Tiempo de parada

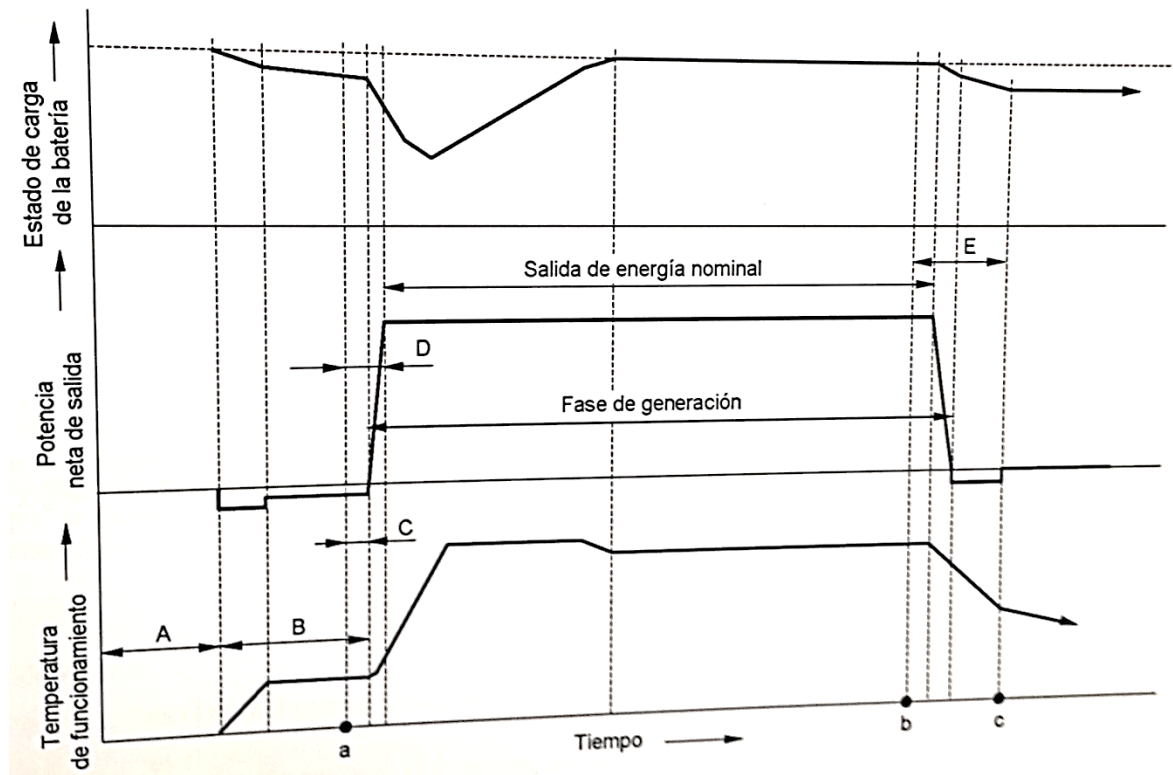
b: Tiempo en el que se inicia la acción de producción

c: Tiempo en el que se inicia la acción de parada

d: Tiempo en el que se termina la acción de parada (las condiciones del final de la parada se especifican por el fabricante)

a-1 o a-2 a d: Modo de funcionamiento (desde el inicio del arranque hasta el final de la parada)

Figura 3.5: estados de funcionamiento de un sistema de pila de combustible estacionario con batería.[9]



### Leyenda

A: Estado en frío

B: Estado en almacenaje

C: Tiempo de arranque

D: Tiempo de respuesta para alcanzar la potencia eléctrica nominal

E: Tiempo de parada

a: Tiempo en el que se inicia la acción de producción (acción de arranque)

b: Tiempo en el que se inicia la acción de parada

c: Tiempo en el que se termina la acción de parada (Las condiciones del fila de la parada se especifican por el fabricante)

a a c: Modo de funcionamiento (desde el inicio del arranque hasta el final de la parada)

Más allá de los diversos ensayos que se pueden realizar a las pilas de combustible, en este trabajo se centrará la atención en los de orden eléctrico.

### **3.8 Ensayo de potencia eléctrica de salida**

#### **3.8.1 Generalidades**

Este ensayo consiste en medir la potencia eléctrica neta media a la potencia eléctrica nominal de salida. Si el funcionamiento con cargas de 50%, 70% y/o salida de energía mínima están especificada por el fabricante, estos puntos de funcionamiento deben también medirse.

Este ensayo debe realizarse al mismo tiempo que el ensayo de combustible y que el ensayo de energía térmica.

#### **3.8.2 Método de ensayo**

- a) Se hace funcionar el sistema a la potencia eléctrica nominal de salida durante más de 30 min antes del comienzo del ensayo.
- b) Para los sistemas provistos de baterías, se hace funcionar el sistema a la potencia eléctrica nominal de salida durante más de 30 min y hasta alcanzar un estado de carga nominal conocido, antes del comienzo del ensayo.
- c) Se comienza el ensayo manteniendo el sistema a la potencia eléctrica nominal de salida. Si estas fases de funcionamiento están especificadas por el fabricante, se repite el ensayo con cargas parciales de 50% y de 75% de salida nominal y/o mínima.
- d) Se mide la energía eléctrica de salida y la energía eléctrica de entrada durante la duración del ensayo. El ensayo debe efectuarse durante al menos 3 h. si el combustible es suministrado de forma intermitente, la duración del ensayo debe ser de 20 veces el intervalo de aprovisionamiento de combustible o 3 h, tomándose el mayor valor de éstos.

### 3.8.3 Cálculo de la potencia eléctrica neta media de salida

La potencia eléctrica neta media de salida debe calcularse por la ecuación siguiente;

$$P_n = \frac{W_{out} - W_{in}}{\Delta T} \times 3600$$

Donde

$P_n$  : es la potencia eléctrica neta media de salida (kW);

$W_{out}$  : es la energía eléctrica de salida durante la duración del ensayo (kW/h);

$W_{in}$  : es la energía eléctrica de entrada durante la duración del ensayo (kW/h);

$\Delta T$  : es la duración del ensayo (s);

## 3.9 Ensayo de arranque

### 3.9.1 Generalidades

Este ensayo consiste en medir el tiempo de arranque y el combustible y/o la energía eléctrica requerida para el arranque del sistema de pila de combustible.

Para el sistema con batería, el ensayo de determinación de la energía de combustible de arranque no es obligatorio si el sistema no está equipado con un dispositivo que permita identificar que la batería ha alcanzado un estado de carga nominal conocido.

### 3.9.2 Determinación del estado de carga de la batería

El tiempo de recarga de la batería hasta alcanzar un estado de carga conocido puede determinarse por uno de los dos métodos siguientes:

- a) Para el sistema equipado con un medio (por ejemplo, un método de visualización o una señal de salida) que permita identificar que la batería ha alcanzado un estado de carga nominal conocido, el tiempo de recarga se determina por este método.
- b) Para el sistema que no está equipado con un medio que permita identificar que la batería ha alcanzado un estado de carga nominal conocido, el tiempo de recarga hasta alcanzar el estado de carga nominal (SCO) puede determinarse

midiendo el tiempo necesario para que el caudal de combustible de entrada se estabilice en el  $\pm 2\%$  de caudal de combustible nominal en una ve que el flujo de combustible haya aumentado para recargar la batería (véase la figura 3.7). Esta medición no es obligatoria.

### **3.9.3 Método de ensayo**

- a) Se mantiene el sistema en estado frío o en estado de almacenamiento durante un mínimo de 48 h antes del comienzo del ensayo.
- b) Para el sistema con batería, se carga la batería a un estado de carga nominal conocido y después se mantiene el sistema en estado frío o en estado de almacenaje durante un mínimo de 48 h antes del comienzo del ensayo.
- c) Se comienza el ensayo. Se mide la energía eléctrica de salida, la energía eléctrica de entrada, el caudal de combustible integrado (o la masa en el caso de combustible líquido), la temperatura del combustible, la presión del combustible y la presión atmosférica en intervalos de 15 s o menos.
- d) Se inicia la opresión de arranque para la potencia eléctrica nominal de salida y se registra la hora a la que se comienza la acción de arranque.
- e) Para el sistema sin batería, se registra la hora a la que termina la opresión de arranque.
- f) Para el sistema con batería, se registra la hora a la que se completa la acción de arranque y el tiempo de recarga de la batería hasta alcanzar el estado de carga nominal conocido.

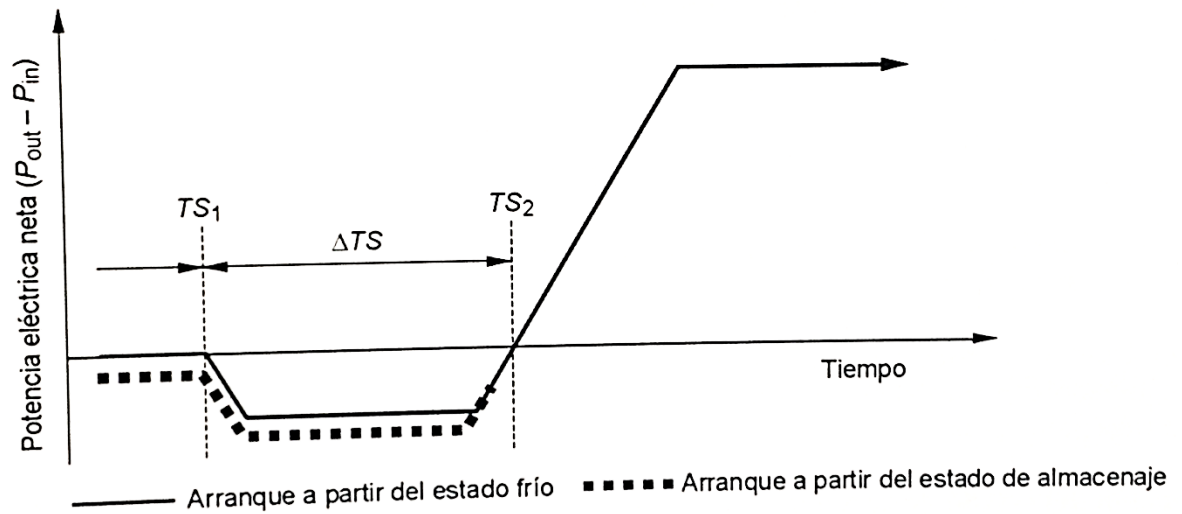
NOTA 1 El inicio de un arranque corresponde al momento en que se pulsa el botón de arranque o se envía la señal normal de arranque.

NOTA 2 El final del arranque corresponde al momento en que la energía eléctrica neta producida se genera como salida.

Para los sistemas con baterías, puede requerirse un registrador de tensión de gran velocidad tal como un osciloscopio para medir el tiempo de arranque porque esta duración es por lo general extremadamente corta (del orden de milisegundos).



Figura 3.6: Ejemplo de grafico de la potencia eléctrica en el arranque de un sistema sin batería.[9]



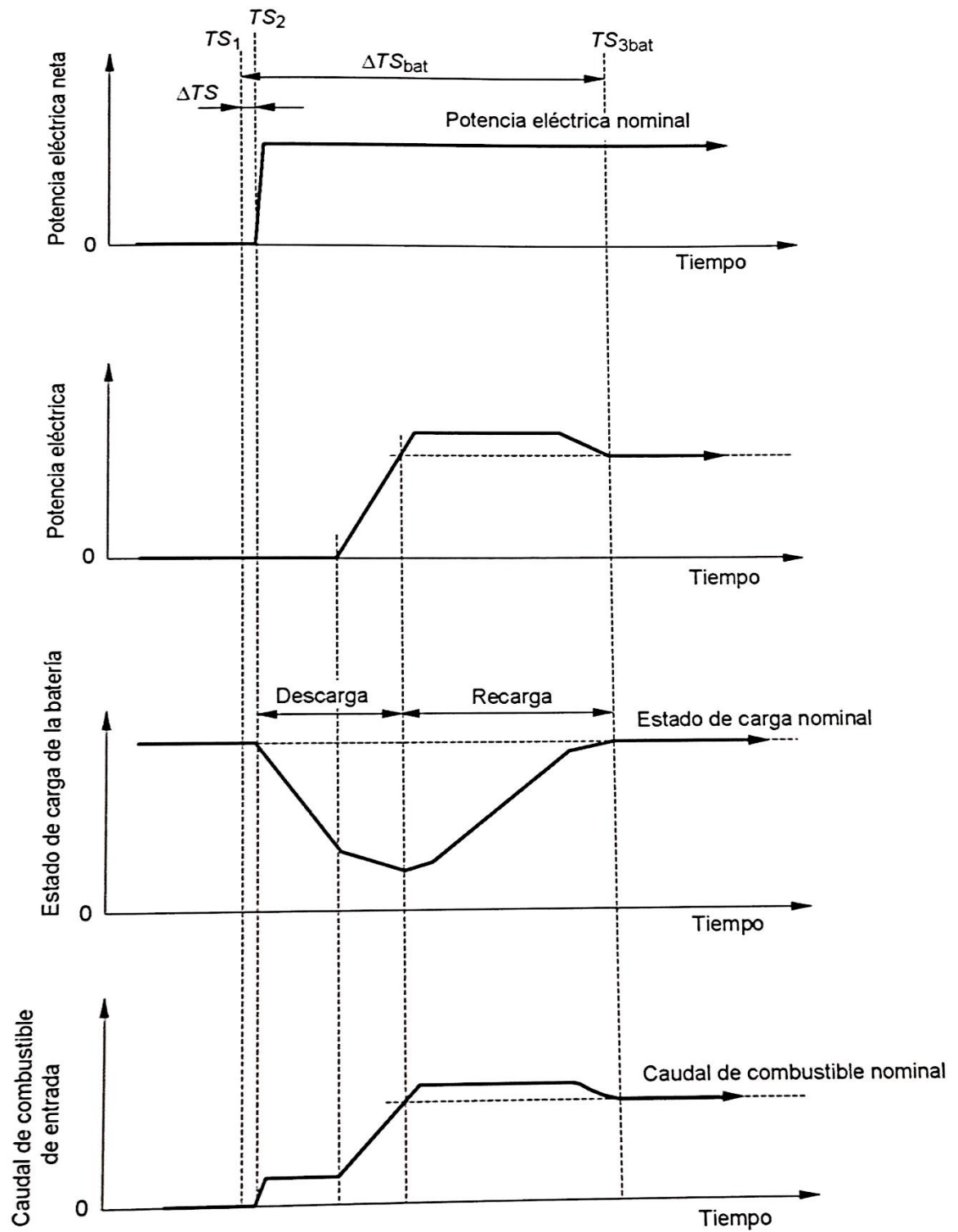
#### Leyenda

$\Delta TS$ : Tiempo de arranque (s)

$TS_1$ : Hora de inicio del arranque

$TS_2$ : Hora del final del arranque

Figura 3.7: Ejemplo de grafico de la potencia eléctrica en el arranque de un sistema con batería.[9]



## Leyenda

$TS_1$ : Hora de inicio del arranque

$TS_2$ : Hora del final del arranque

$TS_{3bat}$ : Hora del final de recarga de la batería

$\Delta TS$ : Tiempo de arranque (s)

$\Delta TS_{bat}$ : Duración del inicio del arranque hasta el final de recarga de la batería (s)

### **3.10 Ensayo de variación de potencia eléctrica de salida**

#### **3.10.1 Generalidades**

Este ensayo consiste en evaluar la capacidad de variación de la potencia eléctrica de salida de los sistemas de pila de combustible. La potencia eléctrica de salida se varía entre la salida nominal y la salida mínima. Las salidas de potencia eléctrica nominal y mínima se especifican por el fabricante.

#### **3.10.2 Método de ensayo**

- a) Se hace funcionar el sistema a la potencia eléctrica nominal de salida durante más de 30 min antes del comienzo del ensayo.

Para sistemas con baterías, se hace funcionar el sistema a la potencia eléctrica nominal de salida durante más de 30 min y hasta alcanzar un estado de carga nominal conocido antes del comienzo del ensayo.

- b) Se comienza el ensayo continuando el funcionamiento del sistema a la potencia eléctrica nominal de salida durante más de 1 h.
- c) Se mide la potencia eléctrica de salida en intervalos de 1 s como máximo hasta el final del ensayo.

NOTA 1 para los sistemas con batería, se requiere un registrador de tensión de gran velocidad tal como un osciloscopio para medir la tasa de aumento de la

potencia eléctrica porque esta última es en general extremadamente rápida (del orden de milisegundos).

- d) Se fija el valor objetivo de la variación de potencia eléctrica de salida a la potencia eléctrica mínima de salida, se inicia una acción de disminución de la potencia eléctrica de salida y se registra la hora de comienzo de la acción de disminución de la potencia eléctrica de salida.
- e) Se registra la hora a la que la potencia eléctrica de salida alcanza la potencia eléctrica mínima de salida dentro del  $\pm 2\%$  de la potencia eléctrica de salida.
- f) Se determina la potencia eléctrica de salida a la potencia mínima de salida durante un mínimo de 1 h.
- g) Se fija el valor objetivo de variación de potencia eléctrica de salida a la potencia eléctrica nominal de salida, se inicia la sección de aumento de la potencia eléctrica de salida y se registra la hora de comienzo de la acción de aumento de la potencia eléctrica de salida.
- h) Se registra la hora a la que la potencia eléctrica de salida alcanza la potencia eléctrica nominal de salida dentro de  $\pm 2\%$  de la potencia nominal de salida.
- i) Se mantiene la potencia eléctrica de salida a la potencia eléctrica nominal de salida durante un mínimo de 1 h.
- j) Se replican las etapas d) a i) al menos tres ciclos.

Figura 3.8: Patrón de variación de la potencia eléctrica de salida para un sistema sin batería.[9]

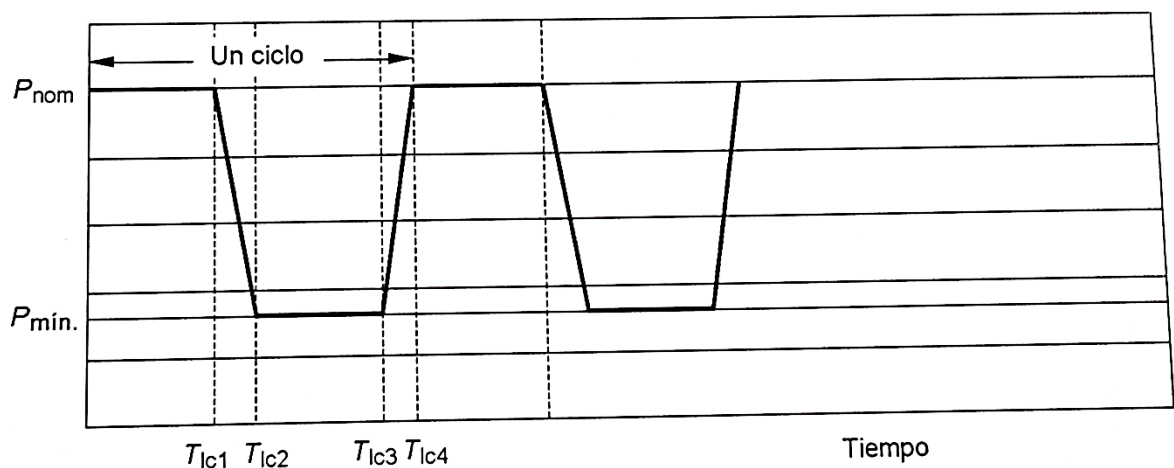
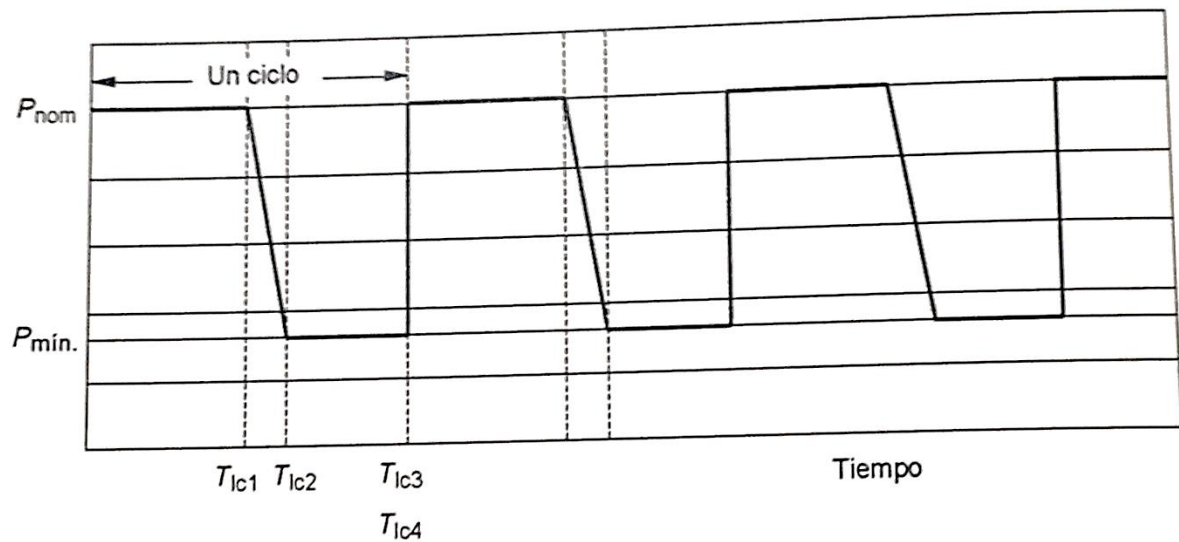


Figura 3.9: Patrón de variación de la potencia eléctrica de salida para un sistema con batería.[9]



Leyenda (para las figuras 3.8 y 3.9)

$P_{nom}$ : Potencia eléctrica nominal de salida

$P_{min}$ : Potencia eléctrica mínima de salida

$T_{IC1}$ : Hora de comienzo de la acción de disminución de la potencia eléctrica de salida

$T_{IC2}$ : Hora a la que la potencia eléctrica de salida alcanza la potencia eléctrica mínima de salida dentro del  $\pm 2\%$  de la potencia nominal de salida (ver figura 3.10)

$T_{IC3}$ : Hora de comienzo de la acción de aumento de la potencia eléctrica de salida

$T_{IC4}$ : Hora a la que la potencia eléctrica de salida alcanza la potencia eléctrica nominal de salida dentro del  $\pm 2\%$  de la potencia nominal de salida (ver figura 3.10)

Figura 3.10: ejemplo de criterios de estabilización de la variación de la potencia eléctrica.[9]

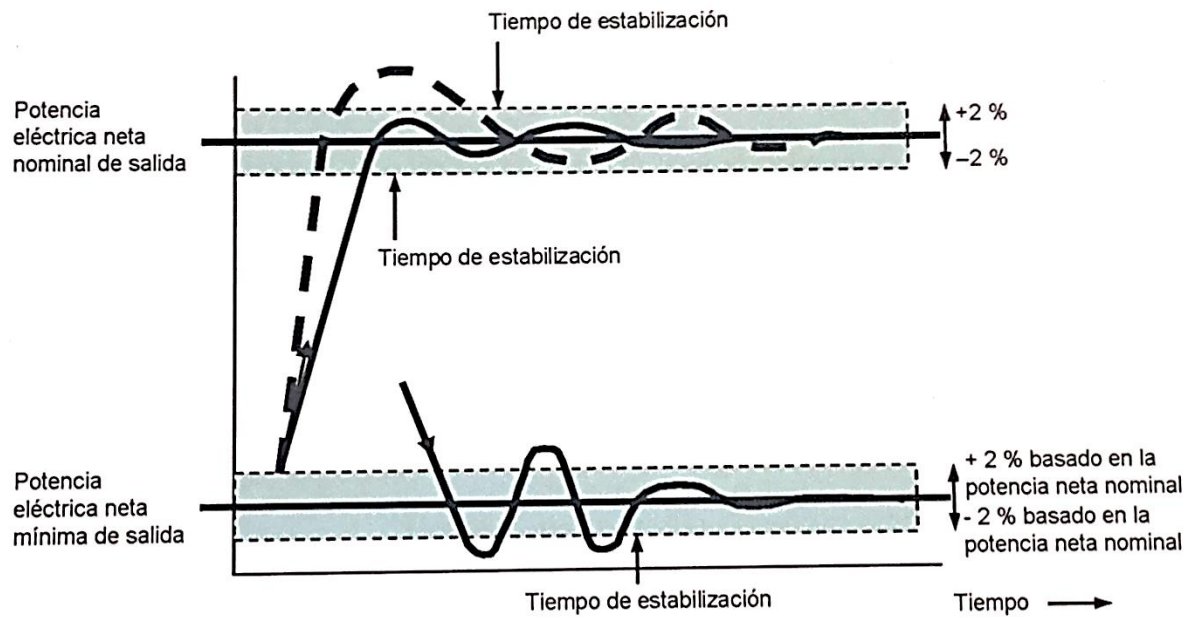
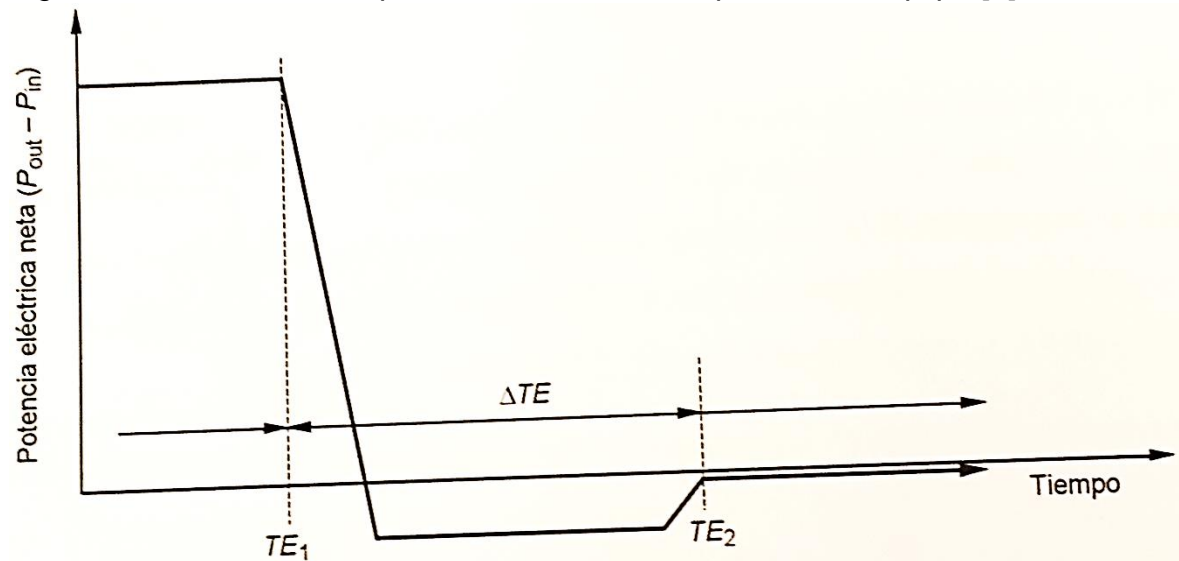


Figura 3.11: Grafico de la potencia eléctrica en la parada del equipo.[9]



Leyenda

$\Delta TE$ : Tiempo de parada (s)

$TE_1$ : Hora de inicio de la acción de parada

$TE_2$ : Hora de terminación de la acción de parada

### 3.11 Módulo de ensayos

Ahora con base en las medidas que se deben tener en cuenta, tanto en instrumentación como en ensayos se optó por la elección de un equipo que integrara todos estos elementos para facilitar la toma de datos y disminuir en gran medida los riesgos que conllevan los ensayos. La compañía HELIOCENTRIS desarrollo un módulo para realización de pruebas para pilas de combustible con potencia máxima de 1.2 W el Nexa<sup>®</sup> Training system, en el cual quedan integrados tanto las pilas de combustible como los cilindros de hidrogeno u otro combustible a utilizar. Los ensayos se realizarían a través del software con el cual viene integrado el equipo. La ficha técnica del equipo se encuentra en el anexo A.[10]

Figura 3.12: Nexa<sup>®</sup> Training system.[10]



El objetivo principal de este trabajo es el diseño de un laboratorio para la realización de estos ensayos con el ánimo de lograr dicho objetivo se deben tener en cuenta la normativa que regula, como deben de ser estos establecimientos.



#### **4. ADECUACIÓN DE ESPACIO SEGÚN LA NORMA IEC 62282-3-300**

En este capítulo se enfatiza en los preliminares que se deben tener en cuenta para el posterior diseño del LABORATORIO PARA CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEMFC, según la norma IEC 62282-3-300 para sistema pequeño de generación por pila de combustible, cabe destacar que en este capítulo no se parafrasea y se toma de forma textual lo que la norma dice.

##### **4.1 REQUISITOS GENERALES Y ESTRATEGIAS DE SEGURIDAD [11]**

La instalación del sistema de generación por pila de combustible debe establecerse de acuerdo con la secuencia siguiente:

- Eliminar la posibilidad de liberar combustible y/o gases tóxicos y gases, líquidos y sólidos contaminantes.
- Eliminar peligros al personal o daños al equipo o propiedad externos al sistema de generación por pilas de combustible y la instalación relacionada en tanto sea razonablemente posible, cuando dicha energía o gases se liberan de forma casi instantánea.
- Proporcionar marcados de seguridad apropiados, relacionados con los restantes riesgos de daños.

Debe tener un cuidado especial para tener en cuenta lo siguiente:

- Peligros mecánicos – superficies afiladas, peligros de traspies, masas móviles e inestabilidad, fuerza de materiales, y líquidos o gases bajo presión.
- Peligros eléctricos – contactos de personas con partes activas, cortocircuitos alta tensión.
- Peligros térmicos – superficies calientes, expulsión de líquidos o gases a alta temperatura, fatiga térmica.
- Peligros de incendio y explosión – líquidos o gases inflamables, posibilidad de mezclas explosivas en condiciones de fallo.
- Peligros de malfuncionamientos – funcionamiento inseguro de los equipos asociados a la instalación debido a fallos de propagación, de circuitos de

control o de componentes protectores de seguridad, o fabricación incorrecta o mala operación.

- Peligros de materiales y sustancias - deterioro del material, corrosión fragilidad, escapes tóxicos, riesgos de asfixia (por ejemplo, por reemplazar oxígeno por gases de purga inertes).
- Peligros por eliminación de residuos – eliminación de materiales tóxicos, reciclaje, eliminación de líquidos o gases inflamables.
- Peligros medioambientales – funcionamiento inseguro en ambientes calientes/fríos, lluvia, inundaciones, viento, terremotos, incendios externos, humo.

## **4.2 CONSIDERACIONES ACERCA DE LA LOCALIZACIÓN**

### **4.2.1 Localización general.**

El sistema de generación por pilas de combustible debe cumplir con la norma IEC 62282-3-100.

Un(s) sistema(s) de generación por pila de combustible y sus equipos, componentes y control asociado, debe(n) colocarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante y satisfacer los requisitos siguientes:

- Debe ser colocado y sujetado firmemente de manera que no pueda moverse, tumbarse o desplazarse fácilmente.
- Debe colocarse y asegurarse como sea necesario de manera que el sistema y los equipos no sean afectados de manera adversa por el viento y sucesos sistémicos. Deben ser protegidos de manera que no sean afectados de manera adversa por la lluvia, nieve, hielo, agua y/o temperaturas de congelación, a menos que el sistema y los equipos de la instalación estén diseñados para esas condiciones.
- Las localizaciones para grandes sistemas de generación deben ser protegerse contra el acceso de personas no autorizadas si así lo requiere la localización y el entorno de la instalación. Debe procurarse acceso a los bomberos.

- Debe colocarse fuera de atmosferas potencialmente peligrosas tal y como están definidas por la Norma IEC 60079-10, a menos que estén aprobadas para la instalación específica.
- Debe colocarse de manera que el sistema de generación y los equipos no afecten de forma negativa a las salidas de edificios.
- Deben colocarse de tal manera que los sistemas de generación y los componentes del sistema de generación por pila de combustible y sus respectivas ventilaciones o terminaciones de escape estén separadas de puertas, ventanas, tomas de entrada desde el exterior y otras aperturas en un edificio, para prevenir la introducción de gases de escape dentro del edificio.
- La(s) salida(s) de escapes no deben representar un riesgo cuando se dirija a caminos u otros medios de desplazamiento para peatones.
- Debe colocarse de manera que permita acceso de servicio, mantenimiento y emergencia.
- Debe colocarse alejado de materiales combustibles, apilados de almacenamiento alto, y otras exposiciones a peligros de incendio. Las distancias y zonas libres deben estar de acuerdo con la legislación dada por la autoridad que tenga jurisdicción.
- Debe colocarse o protegerse para prevenir daños físicos provocados por vehículos o equipos móviles.
- Múltiples sistemas de generación deben situarse o protegerse de modo que un incendio o fallo de uno de los sistemas no tenga un peligro para la seguridad del sistema de generación adyacente.
- Donde se demuestre mediante un análisis de ingeniería que los requisitos prescritos en este apartado son innecesarios para conseguir un nivel de seguridad equivalente, las alternativas aprobadas deben ser presentadas para conseguir permisos de la autoridad que tiene jurisdicción.
- Se deben retirar los líquidos y vapores de descarga de acuerdo con la autoridad que tiene jurisdicción.
- Se deben llevar a cabo impermeabilizaciones de suelo, instalaciones de tubería de drenaje y otras actuaciones apropiadas cuando se instale un

sistema de generación por pila de combustible del que sea esperable que requiera un drenaje.

#### **4.2.2 Instalaciones de interior**

##### **4.2.2.1 Generalidades**

Los sistemas interiores de generación con pilas de combustibles y sus componentes asociados deben instalarse en habitaciones que cumplan los requisitos de las normas nacionales aplicables.

##### **4.2.2.2 Sistemas pequeños de generación de energía por pilas de combustible**

Los sistemas interiores de generación con pilas de combustibles pequeños no requieren tener divisiones con clasificación a pruebas de incendios.

#### **4.3 VENTILACIÓN Y ESCAPE**

##### **4.3.1 Generalidades**

Todos los sistemas de generación de energía por pilas de combustible en interior deben disponer de ventilación y sistemas de escape adecuados.

Las entradas y salidas de los sistemas de ventilación y escape deben cumplir los requisitos especificados en los apartados 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3.

##### **5.2.1 Entradas de aire y venteos**

Las entradas de aire y venteo de un sistema de generación por pilas de combustible deben estar de manera que la planta no se vea afectada por otros escapes, gases o contaminantes. Las entradas de aire a un sistema de generación por pilas de combustible deben mantenerse sin obstrucción de manera que su capacidad de caudal no sea afectada por la aglomeración de sólidos, polvo, agua, hielo y nieve.

##### **5.2.2 Entradas de aire y escapes**

Las entradas de aire y los escapes hacia y desde un sistema de generación por pila de combustible no deben afectar al paso por caminos u otros medios de desplazamientos para peatones.

### 5.2.3 salidas de los escapes

Los escapes de áreas de proceso o área que contengan componentes relacionados con el combustible de un sistema de generación por pila de combustible, incluyendo las salidas de válvulas de seguridad, deben estar colocados de tal manera que no afecten a las entradas de aire de calefacción, ventilación de aire acondicionado, ventanas, puertas y otras aperturas en edificios.

### **4.3.2 Ventilación**

El aire que se aporta a la habitación donde se encuentra el sistema de generación por pila de combustible, sea tomado de la ventilación de la instalación, de una habitación adyacente o del exterior, puede servir como aire de ventilación, de proceso o ambos. Este aire debe ser aportado por sistemas de ventilación forzada o normal de acuerdo con las instrucciones de instalación del fabricante.

Si se requiere ventilación forzada para la seguridad durante el funcionamiento normal, debe disponerse un enclavamiento de control que dispare una alarma y/o apague el sistema de generación por pila de combustible ante la pérdida de ventilación.

### **4.3.3 Sistema de escape**

#### **4.3.3.1 Generalidades**

Los sistemas de generación de energía por pila de combustible deben tener un sistema dedicado de escape de acuerdo con la norma IEC 62282-3-100 que conduzca las emisiones al exterior.

#### **4.3.3.2 Sistemas pequeños de generación por pilas de combustible**

Los sistemas de generación de energía por pilas de combustible pequeños pueden expulsar directamente en un lugar techado donde estén instalados si el lugar techado.

- a) No está unido a ningún edificio o está unido pero si acceso directo a las áreas ocupadas del edificio; y
- b) Tiene un sistema de ventilación enclavado, o ventilación natural, que tenga suficiente caudal para asegurar, en todas las circunstancias, que evitara

- 1) Concentraciones de CO libre en el aire mayores de  $50 \times 10^{-6}$  en condiciones normales de funcionamiento,
- 2) Valores mayores del 25% de los LFL relevantes, y
- 3) Concentraciones de oxígeno por debajo del 18%.

#### **4.3.4 Proceso de ventilación y purgado**

4.3.4.1 Los tanques de presión y las tuberías que tengan que ser purgados. Los reguladores de presión, las válvulas de seguridad, y otras fuentes potenciales de gas combustible deben ser descargadas hacia el exterior del edificio de acuerdo con el apartado 5.2.3. Para sistemas de generación de energía por pila de combustible pequeño se permite realizar el purgado en la atmosfera de la habitación, si se asegura que no se excederá un máximo del 25% del LFL relevante y que la atmosfera no tendrá más de  $50 \times 10^{-6}$  de CO libre en ningún lugar de la habitación.

4.3.4.2 Las ventilaciones deben diseñarse para prevenir la entrada de agua u objetos extraños.

### **4.4 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS Y DETECCIÓN DE GASES**

#### **4.4.1 Protección contra incendio y detección**

##### **4.4.1.1 Protección contra incendio del lugar**

Las localizaciones que tengan almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles deben protegerse de acuerdo con la regulación nacional.

##### **4.4.1.2 Detección de gases combustibles (solo instalaciones interiores)**

**4.4.1.2.1** Debe instalarse un sistema de detección de gas combustible en la envolvente del sistema de generación por pila de combustible o en el sistema de escape del sistema de generación por pila de combustible o en la habitación que entrega la instalación del sistema de generación por pila de combustible. La posición de los sistemas de detección de gases en la habitación debe elegirse para proporcionar lo antes posible el aviso de la presencia de gases combustibles.

La ubicación de los detectores de gas debe realizarse de acuerdo con la Norma IEC 60079-29-2.

Los requisitos para los sensores de gas están definidos en la Norma IEC 60019-29-1.

El sistema de detección de gases combustibles no se requiere para sistemas de generación de energía por pila de combustible que sean:

- Alimentados con gas olorizado; o
- Alimentados con gas sin olorizar, como el hidrogeno, desde botellas de capacidad limitada de acuerdo con las normas nacionales relevantes de manera que puedan almacenarse en interiores sin ventilación especial.

**4.4.1.2.2** Deben cumplirse los siguientes criterios para los sistemas de detección de gases combustible:

- a) El sistema de detección de gas combustible debe prepararse para dar una alarma al 25% del límite inferior de inflamabilidad (LFL) y ser enclavado para apagar el suministro de combustible del sistema de generación por pila de combustible al 50% de LFL respectivamente.
- b) El LFL utilizado debe ser el menor límite de inflamabilidad del gas o mezcla de gases.

**4.4.1.2.3** Debe suministrarse un detector de gas combustible que cumpla los requisitos del aparato 7.1.2.2 para todos los compresores de gas de interior o encerrados de forma separada. Los compresores de gas encerrados de forma separada están exentos siempre que la ventilación de la habitación asegure que las concentraciones de gas combustible serán menores que el 25% del LFL.

**4.4.1.2.4** El área o la habitación donde el sistema de generación por pila de combustible se instale debe tener un detector de gas colocado de acuerdo con el aparato 7.1.2.1 si u gas no olorizado. Como el hidrógeno, se conduce por tuberías en la habitación o área desde el exterior. Los sistemas de detección de gas deben dar la alarma y apagar según los límites respectivos dados en el apartado 7.1.2.2.

#### **4.4.2 Prevención de incendios y planes de emergencia**

Para instalaciones grandes de pilas de combustible, debe realizarse un plan de prevención de incendios y de emergencia por escrito. No se precisa para sistemas pequeños de generación de energía por pila de combustible. [11]

## **4.5 Interconexiones con las interfaces de la instalación**

### **4.5.1 Generalidades**

Todas las interconexiones, incluyendo tubería, cable eléctrico, equipos de desconexión y conducciones entre las interfaces de la instalación y el sistema de generación por pila de combustible deben estar de acuerdo con las normas nacionales pertinentes.

### **4.5.2 Conexiones de suministro de combustible – Generalidades**

La instalación y posición del equipo del punto de interconexión aguas abajo del sistema de suministro de combustible y las tuberías de combustible asociadas, incluyendo los componentes necesarios y su conexión al sistema de generación por pila de combustible estacionario, deben cumplir con este capítulo.

### **4.5.3 Cierre del combustible y tuberías**

**4.5.3.1** Para instalaciones interiores, una válvula de cierre manual accesible debe estar localizada dentro de la habitación o a menos de 1,8 m aguas arriba del sistema de generación por pila de combustible, a no ser que el sistema de generación esté encerrado en una habitación a prueba de incendio. En ese caso, la válvula de cierre debe estar situada fuera de la habitación. Una segunda válvula de cierre puede colocarse dentro de la habitación para mantenimiento. Si no existe esta segunda válvula, y el cierre está situado fuera de la habitación, debe ser bloqueable.

**4.5.3.2** para instalaciones de exterior, se requiere una única válvula de cierre con operación manual.

**4.5.3.3** tuberías, válvulas, reguladores u otros equipos deben ser colocados de manera que no estén sujetos a daños físicos.

**4.5.3.4** para instalaciones interiores de un sistema de generación que sea alimentado por mezcla de gas no olorizadas, debe colocarse una válvula automática de apagado de acuerdo con la Norma ISO 23551-1, con enclavamiento a la detección de gases, fuera del edificio en el cual se encuentra el sistema de generación de acuerdo con el capítulo 7. El sistema de detección de gas debe prepararse para dar una alarma al 25% del LFL y ser enclavado para cerrar el suministro de combustible al sistema de generación al 50% del LFL.



#### **4.5.4 Conexión a suministro de materiales auxiliares y eliminación de materiales**

**4.5.4.1** Generalidades diferentes sistemas de generación de energía por pila de combustible necesitan algún sistema para suministrar o eliminar materiales auxiliares por ejemplo en funcionamiento normal, por razones de seguridad, en procesos de arranque o apagado, purgado o para protección contra daños internos. Agua, nitrógeno, dióxido de carbono e hidrógeno son materiales auxiliares típicos para los sistemas de generación de energía por pila de combustible. Puesto que el almacenamiento de estos materiales no está en el campo de aplicación de esta norma, sólo deben definirse las interfaces.

##### **4.5.4.2 Gases auxiliares combustibles**

En cada sistema para gases combustibles se requieren sistemas de seguridad redundantes consistentes en válvulas de cierre de acción rápida controladas por el sistema de control automático del sistema de generación de energía por pila de combustible y una segunda válvula accesible con operación manual adicional en la línea de alimentación.

##### **4.5.4.3 Gases auxiliares incombustibles o inertes**

Conexión conforme a las normas nacionales.

##### **4.5.4.4 Agua**

Agua de grifo, agua reciclada: conexión de acuerdo con las normas nacionales.

##### **4.5.4.5 Eliminación de aguas de desecho y condensados**

Conexión conforme a las normas nacionales.

#### **4.6 Requisitos medio ambientales**

Las emisiones, contaminantes y otras cargas medioambientales en condiciones normales y anormales de funcionamiento, así como modos de funcionamiento de fallo se define en la Norma IEC 62282-3-100.

Requisitos para la instalación y recepción inicial:

Las siguientes emisiones durante la instalación y la recepción inicial no deben exceder los niveles límites por las reglamentaciones nacionales aplicables a:

- Ruido;
- Emisiones tóxicas y/o contaminantes;
- Descarga de materiales de construcción;
- Materiales auxiliares;
- Grupos de gases de quemado;

Si lo requieren las reglamentaciones nacionales se deben proporcionar y operar instalaciones adecuadas para reducir emisiones durante la instalación y la recepción de energía por pila de combustible.

#### **4.7 Ensayos de aprobación**

##### **4.7.1 Escapes de gas**

Se requiere un ensayo de escape de gas para las tuberías instaladas en campo únicamente. El ensayo de escape de gas debe realizarse de acuerdo con las normas nacionales relevantes.

##### **4.7.2 Dispositivos de apagado específicos de la instalación**

Se debe demostrar que los dispositivos de apagado requeridos por

- El apartado 4.3.2 (ventilación forzada);
- El apartado 4.3.3 (escape forzado);
- Los apartados 4.4.1.2.1 y 4.4.1.2.4 (sensor de combustibilidad);
- El apartado 4.5.3.4 (válvula de cierre de gas no olorizado);

Funcionan correctamente.

#### **4.8 Ensayos de mantenimiento**

Se debe disponer de los procedimientos para ensayos de mantenimiento de elementos instalados en el sitio según sea requerido para mantenimiento periódico normal, que serán realizados de acuerdo a las instalaciones de los fabricantes y las legislaciones nacionales.

Las deficiencias detectadas durante los ensayos de mantenimiento deben corregirse inmediatamente, y únicamente por personal autorizado.

Con base en lo anterior mencionado se presenta la siguiente propuesta de proyecto para la adecuación y dotación de muebles para el laboratorio de celdas de combustible tipo PEMFC y almacén para cilindros de hidrógeno.

## **5. PROYECTO PARA LA ADECUACIÓN Y DOTACIÓN DE MUEBLES PARA EL LABORATORIO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEMFC Y ALMACÉN PARA CILINDROS DE HIDRÓGENO. EDIFICIO 353 ESPACIO 1005, SEDE C.U.V. MELÉNDEZ – UNIVERSIDAD DEL VALLE**

Para el diseño de este proyecto se tomó como base la estructura con la cual se deben presentar los proyectos referentes a la universidad del valle por parte de la dirección de infraestructura universitaria (DIU), el cual está contenido por:

- Memoria
- Especificaciones técnicas
- Cronograma
- Planos
- Presupuesto
- Matriz de riesgo
- Impacto socio-ambiental
- Fotos

A continuación se presenta cada uno de estos ítems de forma resumida, en el anexo B esta información aparece detallada y en el formato ya mencionado.

### **5.1 Memoria**

El proyecto de Adecuaciones y dotación de muebles para el laboratorio de celdas de combustible y disposición para cilindros de hidrógeno, consiste en el diseño arquitectónico en términos de reorganización y optimización funcional de su espacios, dotación de mobiliario y divisiones modulares espaciales, carpintería metálica y de aluminio (puertas, ventanas y muebles fijos), y acabados de pisos, muros y cielos; adicionalmente, el proyecto involucra el diseño de las redes eléctricas de tomacorrientes e iluminación, sistema de aire acondicionado y sistema de comunicaciones (voz y datos) del laboratorio en referencia. El proyecto se realiza teniendo en cuenta un alcance a nivel constructivo.

#### **5.1.1 Objetivo**

El Objetivo de este proyecto es lograr la adecuación de las condiciones espaciales, funcionales y estéticas del espacio referido, así como técnicamente lograr la implementación de las redes eléctricas, de comunicaciones y de aire acondicionado, de acuerdo con la disposición arquitectónica de la reforma,

teniendo en cuenta el uso de nuevas tecnologías más eficientes y amigables con el ambiente.

#### **5.1.2 Localización:**

El proyecto se desarrolla dentro del Edificio 353 espacio 1005 donde funciona el laboratorio de máquinas eléctricas rotativas y en las zonas verdes de dicho edificio dentro de la sede Meléndez de la Universidad del Valle en Cali.

#### **5.1.3 Usos:**

Prácticas y ensayos a celdas de combustible, almacén de cilindros de hidrógeno.

#### **5.1.4 Alturas:**

Altura interna del laboratorio: 1 piso, original: 2.72 m, terminada: 2.72 m.

Altura del Edificio: primer (1) pisos.

Altura interna del espacio de almacenamiento: 1.50 m.

#### **5.1.5 Zonificación:**

Los dos espacios tendrán las siguientes zonas:

1. Zona de almacenamiento de cilindros.
2. Zona de prácticas y ensayos a celdas de combustible.

#### **5.1.6 Tipología:**

Los dos espacios estarán conformados por Espacios organizados linealmente y cerrados según la función de las diferentes áreas.

#### **5.1.7 Programa:**

El laboratorio y el almacén tienen programa de espacios organizados linealmente en dos zonas como se describe en el ítem de zonificación, así:

1. Zona de almacenamiento de cilindros.
2. Zona de prácticas y ensayos a celdas de combustible.

#### **5.1.8 Superficies:**

El área correspondiente a las superficies ocupadas e intervenidas por éste proyecto para las respectivas Oficinas son:

Laboratorio: 11,38 m<sup>2</sup>.

Almacén: 1,32 m<sup>2</sup>.

#### **5.1.9 Descripción sistema constructivo:**

Las adecuaciones y reformas se realizan en el Edificio 353 de la sede Meléndez de la Universidad del Valle, el cual tiene, en términos generales, las siguientes características constructivas:

- Sistema estructural a porticado en concreto reforzado de columnas y losas de entrepiso y cubierta.
- Muros de cerramiento, exteriores e interiores principales en ladrillo limpio a la vista y común repellado, estucado y pintado.
- Muros y divisiones internas en madera, vidrio o similar.
- Pisos en baldosa de cemento.
- Carpintería metálica de hierro o aluminio, y madera para puertas y ventanas.
- Cielos repellados y estucados.

Para el proyecto en ambos espacios se mantiene las características anteriores, proponiendo las siguientes modificaciones y/o adiciones:

- Cambio total de los sistemas de instalaciones eléctricas, de comunicaciones y de aire acondicionado, como se describe en las memorias correspondientes.
- Muros nuevos de cerramiento y/o en panel yeso.

#### **5.2 Especificaciones técnicas**

En este apartado se especifican cada uno de los capítulos en los cuales están divididos las actividades a desarrollar en este proyecto, aun mas se hace claridad en los alcances, materiales, formas de pago de cada una de las actividades las cuales son:

- Obras preliminares.
- Instalaciones eléctricas y de aire acondicionado.
- Pisos.
- Carpintería metálica.
- Divisiones interiores.
- Cerrajería-cerraduras.
- Pinturas.

- Señalética.
- Mobiliario.

### 5.3 Cronograma

Aquí se presenta la programación en 12 semanas de cada una de las actividades.

Tabla 5.1: programación resumida por capítulos.

ITEM	DESCRIPCION	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
1	obras preliminares												
2	instalaciones eléctricas y de aire acondicionado												
3	pisos												
4	carpintería metálica												
5	divisiones interiores												
6	cerrajería - cerraduras												
7	pinturas												
8	señalética												
9	mobiliario												

### 5.4 Planos

Los planos aparecen en el anexo B estos planos son:

Tabla 5.2: Planos proyecto Lab. Pemfc.


ADECUACIÓN Y DOTACIÓN DE MUEBLES PARA EL LABORATORIO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEMFC Y ALMACEN PARA CILINDROS DE HIDRÓGENO. EDIFICIO 353 ESPACIO 1005, SEDE C.U.V. MELÉNDEZ – UNIVERSIDAD DEL VALLE		
PLANOS		
N°	Nombre	Escala
1	disposición de las máquinas eléctricas rotativas dentro del laboratorio	1:50
2	plano arquitectónico del laboratorio para celdas de combustible y almacén de cilindros de hidrógeno	1:50
3	disposición tomas, luminarias y equipo de aire acondicionado tipo mini split	1:50

## **5.5 Presupuesto**

En este presupuesto aparecen los costos de materiales, mano de obra, en un análisis de precio unitario con el cual se, de dicho análisis se obtiene las cifras siguientes:

Tabla 5.3: resumen de presupuesto general Lab. Pemfc.



	ADECUACION Y DOTACION DE MUEBLES PARA EL LABORATORIO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE TIPO PEMFC Y ALMACEN PARA CILINDROS DE HIDROGENO. EDIFICIO 353 ESPACIO 1005, SEDE C.U.V. MELÉNDEZ – UNIVERSIDAD DEL VALLE				
	PRESUPUESTO GENERAL RESUMIDO			FECHA:	30 de nov de 17
				CÓDIGO:	
CD	COSTOS DIRECTOS DE OBRA				
ITEM	DESCRIPCIÓN			VR.TOTAL	
1	OBRAS PRELIMINARES			\$ 970,763.70	
2	INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y DE AIRE ACONDICIONADO			\$ 725,272,549.55	
3	PISOS			\$ 1,919,743.98	
4	CARPINTERIA METÁLICA			\$ 2,360,255.00	
5	DIVISIONES INTERIORES			\$ 1,837,306.00	
6	CERAJERÍA - CERRADURAS			\$ 184,476.00	
7	PINTURAS			\$ 2,530,130.00	
8	SEÑALÉTICA			\$ 441,677.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS			\$ 735,516,901.23		
COSTOS INDIRECTOS					
TOTAL COSTOS DIRECTOS			\$ 735,516,901		
ADMINISTRACIÓN (% DE LAB)			5.00%	\$ 36,775,845	
IMPREVISTOS (% DE LAB)			1.00%	\$ 7,355,169	
UTILIDAD (% DE LAB)			8.00%	\$ 58,841,352	
TOTAL AIU			14.00%	\$ 102,972,366	
I.V.A. (16% SOBRE LA UTILIDAD)			16%	\$ 9,414,616	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS DE OBRA			\$ 112,386,982.51		
1. VALOR PARCIAL PRESUPUESTO DE OBRA			\$ 847,903,884		
9 SUMINISTRO DE MOBILIARIO DE LABORATORIO					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNIT.	VR. TOTAL
9.01	COSTOS DIRECTOS PROYECTO MOBILIARIO DE LABORATIRIO	GLO	1.00	5,000,000	\$ 5,000,000.00
TOTAL MOBILIARIO :				\$ 5,000,000.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS MOBILIARIO Y AIRE ACONDICIONADO					\$ 5,000,000.00
I.V.A.				16%	\$ 800,000.00
2. VALOR PRESUPUESTO MOBILIARIO				\$ 5,800,000.00	
1+2 VALOR TOTAL PRESUPUESTO DE OBRA					\$ 853,703,883.74
					\$ 853,703,884.00

## 5.6 Matriz de riesgo

En el anexo B este apartado aparece de forma explícita.

### **5.7 Impacto socio ambiental**

En el anexo B este apartado aparece de forma explícita.

### **5.8 Fotos**

En el anexo B este apartado aparece de forma explícita.

## **6.CONCLUSIONES**

En este trabajo se desarrolló una propuesta para la construcción de un laboratorio para celdas de combustible tal cual el formato exigido por la dirección de infraestructura universitaria de la Universidad del Valle, que involucra la infraestructura, equipos, inmuebles e instrumentos de medida que generan una visión y un acercamiento a estudiantes e investigadores a este tipo de tecnologías, que buscan convertirse en una alternativa fuerte de energía renovable amigable con el ambiente.

De acuerdo a la revisión bibliográfica y lo visto en la norma IEC 62282-3-201 se logró definir cada uno de los instrumentos de medida necesarios para la realización de los distintos ensayos tales como estado de almacenaje, arranque, consumo de combustible, potencia eléctrica de salida, energía térmica recuperada, parada, variación de potencia eléctrica de salida, ruido, gas de escape, agua de descarga.

El espacio y la infraestructura del laboratorio diseñado se basaron en lo visto en la norma IEC 62282-3-300 la cual define los requisitos para la localización, ventilación y escape, protección contra incendios y detección de gases, interconexiones con las interfaces de las instalaciones, requisitos medio ambientales, ensayos de aprobación y mantenimiento.

## 7.REFERENCIAS

- [1] IEA, "OMR - OMR Public," *International Energy Agency*. 2017.
- [2] UPME, "Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050," *Unidad Planeación Min. Energética, Repub. Colomb.*, p. 184, 2015.
- [3] I. Engenharia, I. C. Regina, and M. C. Lopes, "Ônibus a célula a combustível hidrogênio para transporte urbano no Brasil," 2013.
- [4] F. Barreras and A. Lozano, "Hidrógeno. Pilas de combustibles de tipo PEM," *Año Int. la energía Sosten. para todos*, p. 6, 2012.
- [5] "Enerdata. Global Energy Statistical Yearbook 2016," 2016. [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/>.
- [6] W. Chanpeng, Y. Khunatorn, and B. Plangklang, "Model and experiment analysis of 1.2 kW PEMFC electrification," *Procedia Eng.*, vol. 8, pp. 106–114, 2011.
- [7] E. Solorza, Omar; Rodríguez, Javier; Hernández, *Celdas de combustible*. 2010.
- [8] a. . Fallis, *Celdas de combustible*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [9] I. Comisión Electrotécnica internacional, *Tecnologías de pilas de combustible - Parte 3-201: Sistemas estacionarios de generación de energía por pila de combustible - Métodos de ensayo del funcionamiento para pequeños sistemas de pilas de combustible*. IEC, 2013, pp. 19–64.
- [10] "Heliocentris delivers first batch of new Nexa Training Systems," *Fuel Cells Bull.*, vol. 2011, no. 10, p. 10, Oct. 2011.
- [11] I. comisión Electrotécnica Internacional, *Tecnologías de pilas de combustible - Parte 3-300: Sistemas estacionarios de generación de energía por pila de combustible - Instalación*. IEC, 2012, pp. 10–21.

## 8.ANEXOS

### 8.1 Anexo A

#### Technical Data

Nexa® Training System	
Dimensions (W x H x D)	520 x 1330 x 600
Weight approx.	200 kg
Permissible environmental temperature during operation	+15 ... +40°C
Connection standards	DIN, CGA, BS
Mains connection	230 V (50 Hz), 115 V (60 Hz)
Fuel Cell Module	
Fuel Cell System	
Rated output as delivered	1200 W
Rated current	65 A DC
Operating voltage	20 ... 35 V DC
Maximum hydrogen consumption at rated output of	15 sl/min
Hydrogen purity for operation	4.0 (99,99 %)
Permissible H <sub>2</sub> inlet pressure	1 ... 14 bar
H <sub>2</sub> Flow Meter	
Measuring range	0,6 ... 30 sl/min
Measuring accuracy	± 1.5 % from the end value
H <sub>2</sub> Sensor	
Sensor standard range	0.00 ... 4.00 Vol. %
PC and Software	
19" all-in-one PC, keyboard, mouse	
Windows 7 and experimentation software pre-installed	
Electronic Load	
Max. continuous power output	2400 W
DC load voltage	1 ... 160 V DC
DC load current	1 ... 100 A DC
Load resistance	0.02 ... 10 Ω
Mains connection	230 V (50 Hz), 115 V (60 Hz)
Communication	USB
Battery Module	
Battery set 1	low capacity 24 V (2 x 12 V), 1.9 Ah
Battery set 2	high capacity 24 V (2 x 12 V), 18 Ah
Safety elements	fuse, 2 x temperature sensors



Power Electronics Module	
DC Converter with Integrated Load Regulator	
Rated output voltage	24 V DC
Output voltage range	0 ... 32 V DC
Rated output current	55 A DC
Max. output power	1500 W
Max. inlet voltage range	12 ... 45 V DC
Max. inlet voltage	45 V DC
Efficiency	> 96 %
Inverter	
Continuous output power	1500 W
Inlet voltage	24 V
Output voltage	110/230 V (60/50 Hz)
Output signal form pure sine	pure sine (THD < 3 %)
Efficiency	87/89 % (110/230 V)
H <sub>2</sub> Storage Module	
Hydrogen inlet	loading pressure max. 14 bar
Hydrogen output	0 ... 14 bar, fill-level dependent
Hydrogen manometer	0 ... 25 bar
Metal Hydride Canisters	
Storage capacity (at charge pressure of 17 bar)	max. 3 x 760 sl hydrogen (2280 sl hydrogen)
Output (continuous, at room temperature)	max. 16.5 sl/min
Loading pressure	10...17 bar
Safety elements	3 x temperature sensors, pressure relief valve, hydrogen safety switch, manometer

## **8.2 Anexo B**

Se encuentra almacenado en el CD